



SKRIPSI – TK141581

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI BIJI NYAMPLUNG
MENGUNAKAN *MICROWAVE* DENGAN PROSES
EX SITU DAN *IN SITU***

Oleh :

Syafiqun Nizar Syahir

NRP. 2314 106 033

Agrandy Fyadlon

NRP. 2314 106 035

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

NIP. 1961 08 02 1986 01 1001

Donny Satria Bhuana, S.T., M.Eng

NIP. 1981 03 03 2006 04 1002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT – TK141581

**MAKING OF BIODIESEL FROM NYAMPLUNG SEED
USING MICROWAVE WITH EX SITU AND IN SITU
PROCESS**

Authors :

**Syafiqun Nizar Syahir
NRP. 2314 106 033**

**Agrandy Fyadlon
NRP. 2314 106 035**

Academic Advisor :

**Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA
NIP. 1961 08 02 1986 01 1001**

**Donny Satria Bhuana, S.T., M.Eng
NIP. 1981 03 03 2006 04 1002**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

“PEMBUATAN BIODIESEL DARI BIJI NYAMPLUNG MENGUNAKAN *MICROWAVE* DENGAN PROSES EX SITU DAN IN SITU”

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen
Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

Syafiqun Nizar Syahir

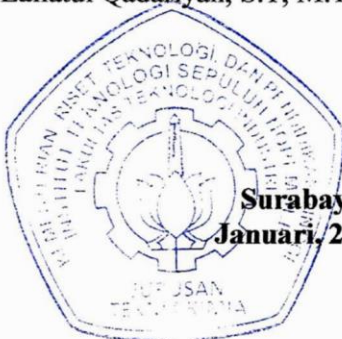
NRP. 2314 106 033

Agrandy Fyadlon

NRP. 2314 106 035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA (Pembimbing I)
2. Donny Satria Bhuna, S.T., M.Eng. (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA (Penguji I)
4. Ir. Ignantius Gunardi, M.T. (Penguji II)
5. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T (Penguji III)



**Surabaya
Januari, 2017**

campuran metil ester serta mengurangi kadar FFA hingga $< 2\%$, dilanjutkan dengan tahap transesterifikasi yang merubah trigliserida dalam minyak menjadi metil ester dan gliserol. Metode kedua pembuatan dengan proses *In Situ* untuk memperoleh biodiesel. Proses ini berlangsung menggunakan *microwave* dengan daya, konsentrasi katalis, waktu dan ukuran sesuai variabel. biji nyamplung di potong sesuai dengan ukuran kemudian di keringkan pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, kemudian mencampur dan mengaduk katalis KOH dengan metanol. Selanjutnya menambahkan biji nyamplung kering ke dalam larutan metanol dan katalis yang telah di campur sebelumnya. Selanjutnya mengatur daya dan waktu pemanasan sesuai dengan variabel dalam *microwave*, kemudian mendinginkan dan mendinginkan campuran hingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas dan bawah, kemudian memisahkan lapisan atas (biodiesel) dan lapisan bawah (gliserol) dengan corong pemisah. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah konsentrasi katalis KOH sebesar 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%, daya sebesar 300, 450, dan 600 Watt dengan waktu selama 10, 20, dan 30 menit pada ukuran 4 dan 8 bagian. Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi konsentrasi katalis maka *yield*nya akan semakin tinggi tetapi nilai viskositas dan densitasnya menurun. Hal ini juga berlaku pada variabel lama waktu pemanasan. Dimana variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* yang dihasilkan. Nilai *yield* tertinggi pada proses *Ex Situ* dari variabel di atas adalah 87,1812% pada katalis KOH dengan konsentrasi 0,5 %, daya 600 Watt, dan waktu 30 menit, dimana viskositasnya sebesar 4,2926 cSt. Sedangkan pada proses *In Situ* nilai *yield* tertinggi dari variabel di atas adalah 73,0284% pada katalis KOH dengan konsentrasi 0,5 %, daya 600 Watt, dan waktu 30 menit, di mana viskositasnya 6,3754 cSt.

Kata kunci : Biodiesel, Biji Nyamplung, Microwave, Ex Situ dan In Situ

MAKING OF BIODIESEL FROM NYAMPLUNG SEED USING MICROWAVE WITH EX SITU AND IN SITU PROCESS

Name/NRP :1. Syafiqun Nizar Syahir 2314106033
2. Agrandy Fyadlon 2314106035

Department : Chemical Engineering FTI-ITS
Academic Advisor : Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA
Donny Satria Bhuana, S.T., M.Eng

ABSTRACT

Fossil energy which has been the basis of the entire world population, the number is dwindling over time. The role of petroleum in the national energy supply is still dominant. Approximately 53% of national energy needs met from petroleum. Therefore, the search for alternative energy substitute for petroleum should be developed, one of which biodiesel. The use of microwaves as the energy source of biodiesel can accelerate the reaction time. So that the microwave is said to be more efficient. Nyamplung seed has an oil content of 60.1% by weight. With this, the oil content of nyamplung seed has great potential when it is used as a raw material for making biodiesel. The purpose of this research is to study the extraction of nyamplung seed using Microwave with variable size, timing and power, learn how to manufacture biodiesel from the nyamplung seed using Microwave with KOH catalyst of ex situ with variable power, catalyst concentration and time, and learned how to make biodiesel from the nyamplung seed by in situ with variable size, power, catalyst concentration, and time. The first method of making the process of ex situ by extracting the nyamplung seed oil in accordance with the variable, followed by a phase esterification to separate water and a mixture of methyl ester and reduce FFA content up to <2%, followed by a phase

transesterification change triglycerides in the oil into methyl ester and glycerol , The second method of making the in situ process for obtaining biodiesel. This process takes place using microwave power, catalyst concentration, timing and size of the corresponding variables. Nyamplung seed in accordance with the size of the pieces and then dried at a temperature of $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ for 24 hours, then mix and stir KOH catalyst with methanol. Further adding to the dry nyamplung seed in a solution of methanol and a catalyst which has been mixed beforehand. Further controls the power and heating time according to the variables in the microwave, then settle and cool the mixture to form two layers, namely upper and lower layers, then separating the top layer (biodiesel) and the bottom layer (glycerol) with a separating funnel. The variables used in this research is the catalyst KOH concentration of 0.1%; 0.2%; 0.3%; 0.4%; and 0.5%, a power of 300, 450, and 600 Watt with time for 10, 20, and 30 minutes on a size 4 and 8 parts. From the experiments have been conducted, it was concluded that the higher the concentration of catalyst then yieldnya will be higher but the value decreases the viscosity and density. This also applies to the old variable heating time. Where these variables had an influence on the density, viscosity and yield is generated. The highest yield value in the process of ex situ of the above variables is 87.1812% of the catalyst with a concentration of 0.5% KOH, 600 Watt power, and within 30 minutes, where the viscosity of 4.2926 cSt. While in the process of in situ value the highest yield of the above variables is 73.0284% of the catalyst with a concentration of 0.5% KOH, 600 Watt power, and within 30 minutes, where the viscosity is 6.3754 cSt.

Keywords : Biodiesel, Nyamplung Seed, Microwave, Ex Situ dan In Situ

KATA PENGANTAR

Segala puji, syukur, hormat, dan kemuliaan hanya bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat karunia-Nya dan kekuatan untuk kami dalam menulis dan menyelesaikan proposal skripsi kami yang berjudul **“Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung Menggunakan *Microwave* dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*”**. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Kepala Jurusan Program Studi S1 Teknik Kimia FTI – ITS.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA., selaku Dosen Pembimbing I dan selaku Kepala Laboratorium Teknologi Proses dan Bapak Donny Satria Bhuana, ST., M.Eng. , selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan arahan yang sudah diberikan.
3. Bapak Setiyo Gunawan, S.T, Ph.D, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Ibu Dr. Lailatul Qadariah, ST. MT. selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Kimia FTI-ITS
5. Bapak dan Ibu Dosen pengajar dan seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.

6. Orang tua dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang kepada kami.
7. Semua teman-teman seperjuangan Proses Crew, dan Lintas Jalur Genap 2014 Teknik Kimia FTI-ITS yang membantu memberikan semangat.

Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat untuk sekarang dan masa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diperlukan.

Surabaya, 23 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian	5
I.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Biodiesel.....	7
II.2 Biji Nyamplung.....	8
II.3 Reaksi Esterifikasi.....	15
II.4 Reaksi Transesterifikasi.....	16
II.5 Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>).....	19
II.6 Metanol.....	20
II.7 Katalis.....	20
II.8 Parameter yang menentukan dalam penentuan karakteristik Biodiesel.....	22
II.9 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Garis Besar Penelitian.....	25
III.2 Bahan dan Peralatan.....	25
III.3 Prosedur Penelitian.....	27
III.4 Variabel Penelitian.....	31
III.5 Kondisi Operasi.....	32
III.6 Flowchart Prosedur Penelitian.....	32
III.7 Analisa Data.....	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 <i>Ex Situ</i>	43
IV.2 <i>In Situ</i>	73
IV.3 Karakteristik Kualitas Produk Biodiesel dengan Proses <i>Ex Situ</i> dan <i>In Situ</i>	89
IV.4 Analisis <i>Gas Chromatography</i> (GC) pada Produk Biodiesel <i>Ex Situ</i>	90
IV.5 Analisis <i>Gas Chromatography</i> (GC) pada Produk Biodiesel <i>In Situ</i>	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	93
V.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	xiv
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Tumbuhan Nyamplung.....	9
Gambar II.2	Alat Soxhlet.....	13
Gambar II.3	a) Perbandingan temperatur <i>microwave</i> Dengan pemanasan konvensional. b) Kondisi thermal pemanasan pada <i>microwave</i> dan pemanasan konvensional...	14
Gambar II.4	Reaksi Transesterifikasi.....	16
Gambar II.5	Potassium Hidroksida (KOH).....	22
Gambar III.1	Serangkaian Alat Metode <i>Microwave-assisted Extraction(MAE)</i>	25
Gambar III.2	Serangkaian Alat Metode <i>Microwave-assisted Distillation</i>	26
Gambar III.3	Serangkaian Alat Metode <i>Microwave-assisted Transesterification</i>	26
Gambar IV.1	Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap <i>Yield</i> Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya <i>Microwave</i> yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	46
Gambar IV.2	Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap <i>Yield</i> Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya <i>Microwave</i> yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	47
Gambar IV.3	Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap <i>Recovery</i> Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya <i>Microwave</i> yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	49
Gambar IV.4	Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap <i>Recovery</i> Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya <i>Microwave</i> yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	50
Gambar IV.5	Pengaruh Kadar Katalis H_2SO_4 terhadap % FFA	54
Gambar IV.6	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya	

	Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	57
Gambar IV.7	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	57
Gambar IV.8	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	59
Gambar IV.9	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	60
Gambar IV.10	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	62
Gambar IV.11	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	63
Gambar IV.12	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel	

	dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	65
Gambar IV.13	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	66
Gambar IV.14	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	68
Gambar IV.15	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	69
Gambar IV.16	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	71
Gambar IV.17	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	71
Gambar IV.18	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	74
Gambar IV.19	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan	

	Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	74
Gambar IV.20	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	76
Gambar IV.21	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	76
Gambar IV.22	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	78
Gambar IV.23	Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	79
GambarIV.24	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	81
GambarIV.25	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran	

	8 Bagian	81
Gambar IV.26	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	83
Gambar IV.27	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	84
Gambar IV.28	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 4 Bagian	86
Gambar IV.29	Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap <i>Yield</i> Biodiesel dengan Daya Optimal 600 Watt untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran 8 Bagian	86
Gambar IV.30	Hasil Analisis GC pada Katalis KOH 0,5% dengan Daya 600 Watt dan Waktu 30 Menit.....	90
Gambar IV.31	Hasil Analisis GC pada Katalis KOH 0,5% dengan Daya 600 Watt dan Waktu 30 Menit.....	91

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Cadangan dan umur sumber energi nasional.....	1
Tabel II.1	Standar Biodiesel.....	8
Tabel II.2	Karakteristik Tanaman Nyamplung.....	9
Tabel II.3	Kandungan Minyak Biji Nyamplung.....	11
Tabel II.4	Komposisi Asam lemak penyusun Minyak Biji Nyamplung.....	11
Tabel II.5	Energi dengan jenis radiasi berbeda.....	19
Tabel II.6	Perbandingan Katalis Homogen dan Heterogen..	21
Tabel IV.1	Perbandingan Uji Karakteristik Kualitas Bahan Baku.....	52
Tabel IV.2	Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Nyamplung.....	53
Tabel IV.3	Karakteristik Kualitas Biodiesel Menggunakan Katalis KOH dengan Proses <i>Ex Situ</i> dan <i>In Situ</i>	89
Tabel IV.4	Komposisi Analisis GC Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses <i>Ex Situ</i>	90
Tabel IV.5	Komposisi Analisis GC Metil Ester dari Biji Nyamplung dengan Proses <i>In Situ</i>	91

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi dari semua sektor pengguna energi secara nasional juga semakin besar. Berdasarkan Buku Ketahanan Energi Indonesia (2014) menyatakan bahwa konsumsi BBM meningkat pesat dari sekitar 167,2 ribuk kiloliter/hari (kl/d) tahun 2009 menjadi 197,4 ribu kl/d atau meningkat 18,1%, dalam 5 tahun terjadi kenaikan konsumsi BBM sebesar 30,2 ribu kl/d. Peningkatan konsumsi BBM terutama premium dan solar disebabkan karena jumlah kendaraan yang setiap tahunnya mengalami peningkatan.

Secara umum cadangan dan umur sumber daya energi *renewable* nasional adalah sebagai berikut :

Tabel I.1. Cadangan dan Umur Sumber Energi Nasional

Jenis energi	Ketersediaan	Produksi	Sisa Umur (Tahun)
Minyak bumi	4,7 milyar barel	1,126 juta barel/hari	15
Gas Bumi	9,3 TSCF	2,6 TSCF/tahun	35
Batu Bara	4,968 milyar ton	81,4 juta ton/tahun	61

Sumber : Statistical Review of World Energy, 2005

Melihat ketersediaan minyak bumi yang semakin menurun dan tingkat konsumsi minyak nasional yang terus meningkat ditambah lagi dengan jumlah BBM yang diimpor oleh Indonesia lebih besar dibandingkan ekspor, sehingga diperlukan suatu alternatif sumber energi terbarukan sehingga tercapainya ketahanan energi nasional (Soerawidjaja, et.al., 2005)

Potensi energi baru dan terbarukan sangat signifikan, Indonesia memiliki potensi sumber daya energi yang sangat bervariasi. Tercatat ada 75.091 MW panas bumi, 29.164, mini/mikro hydro 769,69 MW, biogas 2,3 juta SBM, sampah kota 3.000 MW, tenaga surya 480 kwh/m²/day, tenaga angin 3-6 m/s dan bahan bakar nabati 161,5 juta SBM, (Dirjen Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi ESDM). Namun dalam pemanfaatannya, perlu memperhatikan konsep pembangunan berkelanjutan yang merupakan konsep pembangunan atas dasar penambahan nilai sumber daya. Oleh karena itu, perlu dikembangkan pengembangan Bahan Bakar Nabati (BBN) yang merupakan kebijakan pemerintah melalui instruksi Presiden Nomor 1 tahun 2006 disertai Peraturan menteri ESDM No. 25 tahun 2013 tentang pemanfaatan BBN. Dalam Permen tersebut terdapat kewajiban untuk pemanfaatan BBN untuk BBM yang didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan energi domestik seperti biodiesel. Sehubungan dengan hal tersebut perlu dikembangkan bahan bakar alternatif yaitu biodiesel yang dibuat dari minyak nabati, salah satunya adalah berasal dari biji nyamplung.

Sebagai bahan bakar alternatif biodiesel memiliki beberapa keunggulan diantaranya: biodiesel yaitu salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang karbon monoksida dan gas karbon dioksida dan bebas kandungan sulfur dibandingkan dengan bahan petroleum diesel lainnya.

Bio-oil dapat dibuat secara kimiawi dengan jalan mereaksikan minyak nabati dengan alkohol seperti metanol dan etanol, disebut sebagai reaksi *transesterifikasi*. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling sering digunakan dalam produksi biofuel secara komersial. Karena tingginya kandungan asam lemak bebas pada minyak biji nyamplung yaitu sebesar $\pm 5,1\%$, reaksi transesterifikasi tidak bisa langsung dilakukan. Jika reaksi transesterifikasi tetap dilakukan, akan terbentuk sabun (*saponification*) yang akan menyulitkan proses pemisahan metil

ester-gliserol dan mengakibatkan terbentuknya emulsi ketika proses pencucian dilakukan. Selain itu, dibutuhkan katalis lebih banyak untuk menggantikan katalis yang hilang menjadi sabun. Oleh karena itu, dihindari pembentukan sabun yakni dengan melakukan proses esterifikasi terlebih dahulu yaitu mereaksikan asam lemak bebas dengan metanol dengan bantuan katalis asam, sehingga *yield methyl ester* yang terbentuk lebih besar. Proses ini dapat digunakan sebagai tahap pretreatment untuk mengkonversi FFA menjadi metil ester sehingga dapat mengurangi jumlah FFA dalam minyak. Kemudian pretreated oil dapat ditransesterifikasi dengan katalis alkali untuk mengubah trigliserida menjadi metil ester. Seperti terlihat dalam reaksi di atas, terbentuk air yang jika terakumulasi dapat menghentikan reaksi sebelum benar-benar sempurna. Sehingga perlu dilakukan pemisahan campuran alkohol-air sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi.

Pada proses pembuatan biodiesel secara konvensional, proses transesterifikasi dilakukan setelah proses ekstraksi dan pemurnian minyak. Tahapan-tahapan proses yang harus dilalui dalam pembuatan biodiesel ini menyebabkan rendahnya efisiensi dan tingginya konsumsi energi, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi biodiesel. Oleh karena itu perlu dikembangkan proses pembuatan biodiesel yang bersifat sederhana, efisien, hemat energi dan dapat menghasilkan biodiesel yang berkualitas tinggi melalui proses transesterifikasi *in situ*.

Metode *in situ* merupakan salah satu metode yang diterapkan dalam proses pembuatan biodiesel dengan melakukan ekstraksi langsung pada sumber bahan baku yang mengandung minyak atau lemak. Pada proses *in situ* bahan baku yang digunakan adalah bahan padatan yang mengandung minyak atau lemak. Proses ini dikenal esterifikasi atau transesterifikasi *in situ*. Esterifikasi atau transesterifikasi *in situ* adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi dilangsungkan secara simultan dalam satu reaktor sehingga bisa menghemat waktu dan energi (Shiu et al.2010).

Pemilihan dan penggunaan katalis dalam proses transesterifikasi merupakan bagian yang sangat penting. Variabel yang digunakan dalam pemilihan katalis adalah perbedaan persen katalis berbanding berat lipid. Metode transesterifikasi *in situ* dilakukan secara *batch*. Proses transesterifikasi secara batch lebih baik dibandingkan dengan metode kontinyu disebabkan karena kemudahan dalam mengontrol reaksinya serta tidak membutuhkan banyak peralatan. Selain itu, pemanasan pada proses transesterifikasi ini menggunakan gelombang micro yang mempunyai karakteristik yang berbeda dengan pemanasan konvensional. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan menggunakan gelombang micro dalam sintesis kimia organik membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan pemanasan konvensional (Saptiwi, S., 2010).

Biodiesel yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan standar kualitas biodiesel sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI 04-7182-2012). Uji tersebut meliputi densitas, bilangan asam, yield dan GC pada biodiesel.

Oleh karena itu, pada penelitian dalam pembuatan biodiesel ini menggunakan Biji Nyamplung dengan proses transesterifikasi menggunakan metode batch melalui gelombang micro yang mana diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang cukup berarti bagi ilmu pengetahuan, khususnya di bidang energi, dalam hal penemuan sumber energi alternatif dan dapat lebih dikembangkan lagi sehingga dapat diperoleh kualitas biodiesel yang lebih bagus dengan proses yang lebih mudah.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana ekstraksi Biji Nyamplung menggunakan *Microwave* dengan variabel waktu, daya, dan ukuran ?
2. Bagaimana cara pembuatan biodiesel dari Biji Nyamplung menggunakan *Microwave* dengan katalis KOH secara Ex Situ dengan variabel daya, konsentrasi katalis, dan waktu ?

3. Bagaimana pembuatan biodiesel dari Biji Nyamplung secara In Situ dengan variabel daya, konsentrasi katalis, ukuran dan waktu ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari ekstraksi Biji Nyamplung menggunakan *Microwave* dengan variabel waktu, daya, dan ukuran.
2. Mempelajari cara pembuatan biodiesel dari Biji Nyamplung menggunakan *Microwave* dengan katalis KOH secara Ex Situ dengan variabel daya, konsentrasi katalis, dan waktu.
3. Mempelajari pembuatan biodiesel dari Biji Nyamplung secara In Situ dengan variabel daya, konsentrasi katalis, ukuran dan waktu.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan wawasan bagi penulis dan masyarakat mengenai pemanfaatan Biji Nyamplung sebagai energi alternatif
2. Mendukung program pemerintah dalam hal efisiensi energi, pengembangan energi alternatif dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional
3. Dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menggantinya dengan energi terbarukan.
4. Dapat digunakan sebagai referensi atau rujukan dalam produksi biodiesel dari biji nyamplung skala besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak sayur atau lemak hewan. Sebuah proses dari transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, tidak seperti minyak sayur langsung, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus. Namun, dia lebih sering digunakan sebagai penambah untuk diesel petroleum, meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas (Sufriyani, T.,2006).

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati disebut transesterifikasi (trans – ester – ifikasi) Transesterifikasi merupakan perubahan bentuk dari Biodiesel dapat digunakan secara murni maupun dicampur dengan bahan bakar diesel fosil. ASTM Internasional sebuah lembaga yang menentukan standar spesifikasi biodiesel mendefinisikan biodiesel sebagai campuran dari bahan bakar biodiesel dengan bahan bakar diesel fosil (Stauffer dan Byron, 2007).

Karena sebagian besar tanaman memiliki kandungan minyak dan *free fatty acid* (FFA) yang berbeda-beda maka minyak nabati sebagai bahan baku pembuatan biodisel dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan kandungan FFA, yaitu:

1. Refined oils : Minyak nabati dengan kandungan FFA kurang dari 1,5%
2. Minyak nabati dengan kandungan FFA rendah kurang dari 4%

3. Minyak nabati dengan kandungan FFA tinggi lebih dari 20%

(Joelianingsih, 2003)

Kualitas biodiesel sebagai produk bahan bakar mesin diesel ditentukan oleh beberapa parameter, antara lain bilangan setana, kekentalan kinematik, masa jenis, dan lain-lain. Rumusan standar biodiesel Indonesia dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel II.1 Standar Biodiesel

Parameter	SNI 7182-2015
Massa jenis pada 40°C (kg/m ³)	850 – 890
Viskositas Kinematik pada 40°C, (cSt)	2,3 – 6,0
Angka Setana	Min. 51
Titik Nyala (°C)	Min. 100
Titik Kabut (°C)	Min.18
Kadar Air (% volume)	Max. 0,05
Bilangan Iodin (g-I ₂ /100 g)	Max. 115

(Sumber: Departemen Perindustrian SNI 7182-2015)

II.2 Biji Nyamplung

Tanaman nyamplung adalah jenis tanaman serba guna, disamping kayunya bagus digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan dan meubel air, juga buahnya bermanfaat untuk kesehatan dan penghasil minyak (Biofuel). Tanaman nyamplung merupakan tanaman penghasil minyak yang potensial untuk dikembangkan menjadi biodiesel (Hambali *et al.*, 2006).

Biji buah pohon nyamplung (*Colophyllum inophyllum*) selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Biji dari tanaman nyamplung memiliki banyak kandungan senyawa kimia, antara lain: senyawa lakton yaitu kolofiloida dan asam kalofilat, tacamahin, asam tacawahol, bummi, resin minyak atsiri, senyawa pahit, calanolide A, sitosterol, lendir, gliserin, minyak lemak, tannin, takaferol, dan karatenoid (Sudrajat, 2008).



Gambar II.1 Tumbuhan Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)

Klasifikasi Tanaman Nyamplung antara lain sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Bangsa	: Guttiferales
Suku	: Guttiferae
Marga	: Calophyllum
Jenis	: Calophyllum inophyllum

Berikut ini karakteristik tanaman nyamplung baik dari batang, daun, bunga, buah, dan akar pada table II.2

Tabel II.2 Karakteristik Tanaman Nyamplung

Nama Bagian Tanaman		Ciri-Ciri
Batang		Berkayu, bulat dan berwarna coklat atau putih kotor.
Daun		Berwarna hijau, tunggal, bersilang berhadapan, bulat memanjang atau bulat telur, ujung tumpul, pangkal membulat, tepi rata, pertulangan bersirip, panjang 10 – 21 cm, tangkai 1,5 – 2,5 cm, daging seperti kulit/belulang.

Bunga	Majemuk, bentuk tandan, di ketiak daun yang teratas, berkelamin dua, diameter 2 – 3cm, daun berkelopak empat, tidak beraturan, benang sari banyak, tangkai putik membengkok, kepala putik bentuk perisai, daun mahkota empat.
Buah	Batu, bulat seperti peluru dengan mancung kecil di depannya, diameter 2,3 – 3,5 cm, berwarna coklat.
Akar	Tunggang, bulat, berwarna coklat.

Tanaman nyamplung telah banyak memberikan manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Secara tradisional tumbuhan ini telah banyak dimanfaatkan sebagai tanaman obat, antara lain getah dari nyamplung digunakan sebagai obat reumatik sementara air rendaman daun nyamplung dapat untuk mengobati peradangan pada mata (Heyne, 1987). Tanaman Nyamplung dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel karena kandungan minyak dalam inti bijinya yang cukup tinggi, yaitu bisa mencapai sebesar 45-73 % berat kering dan merupakan tanaman non pangan (non-edible oil). (Soerawidjaja, Tatang, dkk, 2005). Kandungan kimia pada bagian daun *Calophyllum inophyllum* yang berhasil diisolasi merupakan senyawa turunan kumarin (Patil *et al.*, 1993 dan Itoigawa *et al.*, 2001), benzodipiranon (Khan *et al.*, 1996 dan Ali *et al.*, 1999), flavonoid (Subramanian *et al.*, 1971), triterpenoid (Li *et al.*, 2010)

Pemanfaatan biji Nyamplung sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN) memiliki keunggulan dibandingkan Jarak Pagar maupun Kelapa Sawit. Biji Nyamplung memiliki kekentalan melebihi minyak tanah serta kandungan minyak yang mencapai 50-70%. Kelebihan lainnya adalah dapat berbuah sepanjang

tahun, proses budidaya mudah serta proses pemanfaatannya tidak bersaing dengan kepentingan pangan (www.energitbarukan.net)

Tabel II.3 Kandungan Minyak Biji Nyamplung

Gliserida	Nilai (%)
FFA (Asam Lemak Bebas / <i>Free Fatty Acid</i>)	5,1
FFA (Asam Lemak Bebas / <i>Free Fatty Acid</i>)	<0,1
DAG (Digliserida / <i>Diacylglycerol</i>)	7
DAG (Digliserida / <i>Diacylglycerol</i>)	76,7
DAG (Digliserida / <i>Diacylglycerol</i>)	11,2

Tabel II.4 Komposisi Asam Lemak Penyusun Minyak Biji Nyamplung

Asam Lemak	Kategori	Nilai (%)
Asam Miristat	Asam Lemak jenuh	<0,1
Asam Palmitat	Asam Lemak jenuh	13,7 ± 0,8
Asam Palmitoleat	Asam Lemak tak jenuh	0,2
Asam Stearat	Asam Lemak jenuh	14,3 ± 0,8
Asam Oleat	Asam Lemak tak jenuh	39,1 ± 0,8
Asam Linoleat	Asam Lemak tak jenuh	31,1 ± 0,8
Asam Linolenat	Asam Lemak tak jenuh	0,3 ± 0,8
Asam <i>Arachidic</i>	Asam Lemak jenuh	0,6 ± 0,8
Asam <i>Gondoic</i>	Asam Lemak tak jenuh	0,1
Asam <i>Behenic</i>	Asam Lemak jenuh	0,2
Asam <i>Erucic</i>	Asam Lemak tak jenuh	<0,1
Asam <i>Lignoceric</i>	Asam Lemak jenuh	0,2
Asam <i>Nervonic</i>	Asam Lemak tak jenuh	<0,1

(Crane, Sylvie, 2005)

II.3 Ekstraksi Padat - Cair

Ekstraksi merupakan suatu metode untuk mengeluarkan suatu komponen tertentu dari zat padat atau zat cair dengan bantuan pelarut. Prinsip metode ini didasarkan pada distribusi zat terlarut dengan perbandingan tertentu antara dua pelarut yang

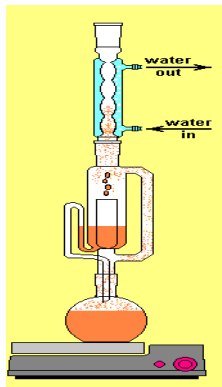
tidak saling bercampur. Teknik ini dapat dipergunakan untuk kegunaan preparatif, pemurnian, memperkaya, pemisahan serta analisis pada semua skala kerja (Khopkar, 2003). Ekstraksi dapat digolongkan menjadi dua kategori yaitu ekstraksi cair - cair dan ekstraksi padat - cair (*leaching*). Ekstraksi cair cair digunakan untuk memisahkan dua zat cair yang saling bercampur dengan menggunakan suatu pelarut yang melarutkan salah satu zat dalam campuran itu. Ekstraksi padat cair (*leaching*) digunakan untuk memisahkan campuran zat padat dan zat terlarut dengan menggunakan pelarut yang dapat melarutkan zat terlarut tetapi sangat sedikit melarutkan zat padat (Treybal, 1980). Pemisahan yang berlangsung dengan ekstraksi padat-cair dapat digolongkan pemisahan fisik di mana komponen terlarut kemudian dikembalikan lagi ke keadaan semula tanpa mengalami perubahan kimiawi (Mc. Cabe, 2005; Skoog, 2002) Istilah *leaching* sering disebut dengan sebutan ekstraksi, demikian pula alatnya sering disebut sebagai ekstraktor.

II.3.1 Metode Soxhletasi

Soxhletasi merupakan ekstraksi secara berkesinambungan, pelarut dipanaskan sehingga menguap, uap pelarut terkondensasi menjadi molekul-molekul air oleh pendingin balik dan turun menyari bahan dalam klongsong dan selanjutnya masuk kembali ke dalam labu alas bulat setelah melewati pipa sifon. Bahan yang akan diekstraksi diletakkan dalam sebuah kantung ekstraksi (kertas, karton, dan sebagainya) dibagian dalam alat ekstraksi dari gelas yang bekerja kontinyu pendekatan konsentrasi secara kontinyu). Keburukannya adalah waktu yang dibutuhkan untuk ekstraksi cukup lama (sampai beberapa jam) sehingga kebutuhan energinya tinggi (listrik, gas). Selanjutnya, simplisia di bagian tengah alat pemanas langsung berhubungan dengan labu, dimana pelarut menguap. Pemanasan bergantung pada lama ekstraksi, khususnya titik didih bahan pelarut yang digunakan, dapat berpengaruh negatif terhadap bahan tumbuhan yang peka suhu (glikosida, alkaloida). Demikian

pula bahan terekstraksi yang terakumulasi dalam labu mengalami beban panas dalam waktu lama (Anonim, 2011). Metode soxhletasi memiliki kelebihan dan kekurangan pada proses ekstraksi. Keuntungan metode ini adalah sampel diekstraksi dengan sempurna karena dilakukan berulang ulang, jumlah pelarut yang digunakan sedikit, jumlah sampel yang diperlukan sedikit, dan pelarut organik dapat mengambil senyawa organik berulang kali. Sedangkan kelemahannya adalah tidak baik dipakai untuk mengekstraksi bahan-bahan tumbuhan yang mudah rusak atau senyawa senyawa yang tidak tahan panas karena akan terjadi penguraian, dan pelarut yang digunakan mempunyai titik didih rendah sehingga mudah menguap. Adapun syarat syarat pelarut yang digunakan dalam proses sokletasi :

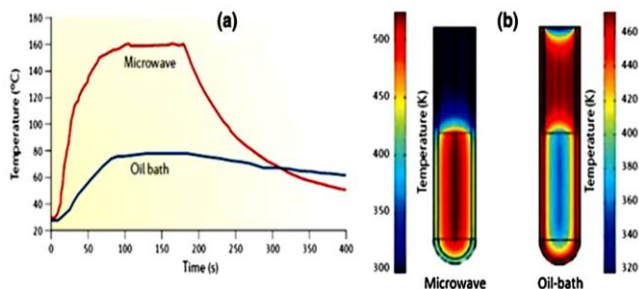
1. Pelarut yang mudah menguap contohnya : n-heksana, eter, petroleum eter, metil klorida dan alkohol
2. Titik didih pelarut rendah.
3. Pelarut tidak melarutkan senyawa yang diinginkan.
4. Pelarut terbaik untuk bahan yang akan diekstraksi.
5. Pelarut tersebut akan terpisah dengan cepat setelah pengocokan.
6. Sifat sesuai dengan senyawa yang akan diisolasi, polar atau nonpolar (Ina, 2011)



Gambar II.2 Alat Soxhlet

II.3.2 Metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE)

Microwave-Assisted Extraction (MAE) atau ekstraksi dengan bantuan gelombang mikro merupakan proses ekstraksi yang memanfaatkan energi yang ditimbulkan oleh gelombang mikro dengan frekuensi 0.30-300 GHz dalam bentuk radiasi non-ionisasi elektromagnetik. Keuntungan MAE yakni aplikasinya yang luas dalam mengekstrak berbagai senyawa termasuk senyawa yang labil terhadap panas. Selain itu, laju ekstraksi yang lebih tinggi, konsumsi pelarut yang lebih rendah, dan pengurangan waktu ekstraksi yang signifikan dibanding ekstraksi konvensional (Aliefa *et al.*, 2015).



Gambar II.3 a) Perbandingan Temperatur *Microwave* dengan Pemanasan Konvensional. b) Kondisi thermal Pemanasan pada *Microwave* dan Pemanasan Konvensional

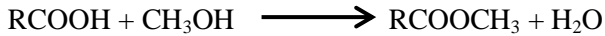
MAE merupakan teknologi untuk mengekstrak material organik dengan memperhatikan alternatif yang penting dalam teknik ekstraksi karena dapat bermanfaat untuk mengurangi waktu ekstraksi dan penggunaan solvent, selektivitas, pemanasan volumetrik, dan proses pemanasan yang terkontrol. Sebagai tambahan, untuk mengurangi waktu ekstraksi, penggunaan pelarut dan konsumsi energi, proses ini menunjukkan lebih banyak keuntungan seperti lebih efektif dalam proses pemanasan, transfer energi yang lebih cepat, ukuran peralatan yang tidak terlalu besar, serta laju pemanasan yang lebih cepat dan peningkatan yield (Gabriel *et al.*, 2013).

Keunggulan dalam pemilihan microwave sebagai media pemanas karena microwave bisa bekerja cepat dan efisien. Hal ini dikarenakan adanya gelombang elektromagnetik yang bisa menembus bahan dan mengeksitasi molekul-molekul bahan secara merata. Gelombang pada frekuensi 2500MHz (2,5 GHz) ini diserap bahan. Saat diserap, atom-atom akan tereksitasi dan menghasilkan panas. Proses ini tidak membutuhkan konduksi panas seperti oven biasa. Maka dari itu, prosesnya bisa dilakukan sangat cepat. Disamping itu, gelombang mikro pada frekuensi ini diserap oleh bahan gelas, keramik, dan sebagian jenis plastik. Pemanasan dengan gelombang mikro lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik properties bahan. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan. Selain itu waktu reaksi pemanasan dengan gelombang mikro jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan waktu reaksi pemanasan konvensional. Pemanasan dengan *microwave* memiliki panas yang hilang lebih kecil dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Hal ini menandakan bahwa efisiensi energi pemanasan menggunakan *microwave* lebih besar dibandingkan pemanasan konvensional.

II.3 Reaksi Esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi antara metanol dengan asam lemak bebas membentuk metil ester menggunakan katalis asam. Katalis asam yang sering digunakan adalah asam kuat seperti asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl). Reaksi esterifikasi tidak hanya mengkonversi asam lemak bebas menjadi metil ester tetapi juga menjadi trigliserida walaupun dengan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa (Freedman et al., 1998). Faktor yang mempengaruhi reaksi esterifikasi adalah jumlah pereaksi, waktu reaksi, suhu, konsentrasi katalis dan kandungan air pada minyak. Metil ester hasil reaksi esterifikasi harus bebas air dan sisa katalis sebelum reaksi transesterifikasi

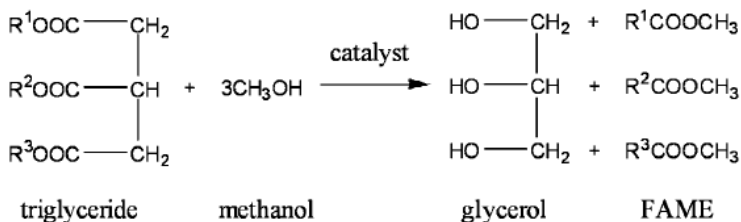
(Ozgul dan Turkay, 2002). Reaksi esterifikasi dapat dilihat sebagai berikut :



II.4 Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti methanol atau etanol yang menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters* /FAME) atau biodisel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/alkali. Jenis katalis yang biasa digunakan antara seperti Natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). (Joelianingsih, 2003).

Reaksi transesterifikasi antara minyak atau lemak alami dengan methanol digambarkan sebagai berikut:



Gambar II.4 Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang berjalan tiga tahap dan *reversible* (bolak-balik) dimana mono dan digliserida terbentuk sebagai intermediate. Reaksi stoikimetris membutuhkan 1 mol trigliserida dan 3 mol alkohol. Alkohol digunakan secara berlebih untuk meningkatkan *yield alkyl ester* dan untuk memudahkan pemisahan fasanya dari gliserol yang terbentuk. (Freedman, 1987)

Pengetahuan mengenai reaksi transesterifikasi diperlukan untuk mencapai model kinetik yang bertujuan untuk menurunkan model matematik dari laju reaksi transesterifikasi. Laju reaksi transesterifikasi dan yield biodiesel dipengaruhi beberapa kondisi seperti perbandingan mol alkohol dan minyak, temperatur, dan presentasi katalis. Faktor kinetik lain seperti jenis pengadukan dan jenis reaktor juga mempengaruhi laju reaksi. (Veljkovic, Vlada B., et al, 2011)

II.4.1 Reaksi Transesterifikasi In Situ

Pada proses pembuatan biodiesel secara konvensional, proses transesterifikasi dilakukan setelah proses ekstraksi dan pemurnian minyak. Tahapan-tahapan proses yang harus dilalui dalam pembuatan biodiesel ini menyebabkan rendahnya efisiensi dan tingginya konsumsi energi, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi biodiesel. Oleh karena itu perlu dikembangkan proses pembuatan biodiesel yang bersifat sederhana, efisien, hemat energi dan dapat menghasilkan biodiesel yang berkualitas tinggi melalui proses transesterifikasi *in situ*.

Transesterifikasi *in situ* merupakan langkah yang lebih sederhana dalam memproduksi monoalkil ester asam lemak dengan mengeliminasi proses ekstraksi dan pemurnian minyak sehingga dapat menurunkan biaya produksi biodiesel (Haas *et al.*, 2004). Trigliserida yang digunakan dalam proses transesterifikasi *in situ* berasal dari bahan baku sumber minyak dan bukan berasal dari minyak yang sudah diekstrak dan dimurnikan terlebih dahulu (Qian *et al.*, 2008)

Esterifikasi atau transesterifikasi *in situ* adalah proses ekstraksi minyak dan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi dilangsungkan secara simultan dalam satu reaktor (Shiu *et al.* 2010). Mekanisme dari proses transesterifikasi *in situ* menurut Georgogianni *et al.* (2008) adalah bahan baku sumber minyak mengalami kontak langsung dengan larutan alcohol dan katalis asam atau basa. Alkohol berfungsi sebagai pelarut

minyak dalam bahan sekaligus pereaksi dalam proses transesterifikasi. Haas *et al.* (2004) menyatakan bahwa alkohol akan masuk dan menghancurkan bagian-bagian dalam sel, kemudian melarutkan minyak yang terkandung dalam bahan baku. Minyak selanjutnya direaksikan dalam proses transesterifikasi.

Haas dan Karen (2007) pada penelitiannya mengenai transesterifikasi *in situ flake* biji kedelai dengan katalis NaOH menunjukkan bahwa jumlah penggunaan metanol dan katalis dapat dikurangi masing-masing sebesar 60% dan 56% ketika kandungan air pada bahan dikurangi sampai 0.8%. Kondisi optimal dengan rendemen sebesar 100% diperoleh pada waktu proses selama 10 jam, kadar air bahan 0.8%, dan konsentrasi NaOH 0.10 N dalam metanol sebanyak 12 ml.

Georgogianni (2008) melakukan transesterifikasi *in situ* pada biji bunga matahari menggunakan katalis NaOH 2%, pada suhu 60°C, dan *mechanical stirrer* 600 rpm. Rendemen metil ester yang diperoleh adalah sebesar 95%. Rendemen tersebut dapat dicapai pada waktu reaksi 20 menit dan perbandingan massa bahan/metanol sebesar 1:10. Sedangkan pada transesterifikasi *in situ* biji kapas yang dilakukan oleh Qian (2008), konversi minyak menjadi metil ester dapat mencapai 98% pada kondisi proses kadar air biji < 2%, ukuran partikel bahan 0.300-0.335 mm, konsentrasi NaOH 0.1 mol/L metanol, perbandingan molar metanol/minyak 135 : 1, serta suhu dan waktu reaksi masing-masing 40°C dan 3 jam.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari proses *in situ* menyerupai faktor-faktor pada proses transesterifikasi konvensional. Diantaranya adalah kadar air dan basa lemak, ukuran bahan, jenis dan rasio pelarut terhadap bahan baku, jenis katalis, konsentrasi katalis yang digunakan, waktu reaksi, suhu reaksi, dan kecepatan pengadukan (Suryani, 2011).

II.5 Gelombang Mikro (*Microwave*)

Gelombang mikro atau mikro gelombang (*microwave*) adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency*, SHF), yaitu diatas 3GHz (3×10^9 Hz). Sebenarnya gelombang ini merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombangnya termasuk ultrashort (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro. Dari sinilah lahir istilah microwave. Gelombang mikro berada pada frekuensi 2.500 MHz (2,5 GHz) ini diserap oleh air, lemak, dan gula. Saat diserap, atom tereksitasi dan menghasilkan panas. Proses ini tidak memerlukan konduksi panas seperti oven biasa. Karena itulah prosesnya bisa dilakukan sangat cepat. Hebatnya lagi, gelombang mikro pada frekuensi ini tidak diserap oleh bahan-bahan gelas, keramik, dan sebagian jenis plastik. Bahan logam bahkan memantulkan gelombang ini

Tabel II.5 Energi dengan Jenis Radiasi Berbeda

Radiasi	Frekuensi (Hz)	Energy (eV)
Gamma	3.0×10^{22}	1.24×10^6
X	3.0×10^{19}	1.24×10^5
Ultraviolet	1.0×10^{15}	4.1
Visible	6.0×10^{14}	2.5
Radiasi	Frekuensi (Hz)	Energy (eV)
Infrared	3.0×10^{12}	0.012
Microwave	2.45×10^9	0.0016
Radiofrekuensi	1.0×10^6	4.0×10^{-9}

(Sumber: R.O.M.A. De Souza, 2015)

Pemanasan dielektrik terjadi melalui dua fenomena utama; polarisasi dipolar dan konduksi ionik. Polarisasi dipole dihasilkan ketika dipol atau beban dalam molekul cair berusaha untuk menyesuaikan diri dengan elektromagnetik lapangan yang disebabkan oleh MW iradiasi. Hal ini menyebabkan gesekan dipole dan tabrakan dan akhirnya menghasilkan pemanasan

dielektrik. Dalam konduksi ionik, ion molekul akan bergerak di bawah pengaruh medan elektromagnetik yang berubah dan memberikan panas dari tingkat tabrakan cepat pada tingkat molekuler. (Giancarlo Cravotto dan Issara Choedkiatsakul, 2015)

II.6 Metanol

a. Sifat Fisik

- *Flash point* : 52 °F (11°C)
- Titik Nyala : 867°F (464°C)
- Warna : Bening, tidak berwarna
- Keadaan fisik (fase) : liquid
- *Specific gravity* : 0.792 gm/c³
- Kelarutan dalam air : ~100%
- Titik didih : 145.8°F (64.7°C)
- Tekanan uap : 97 mm Hg
- Densitas uap (udara:1,0): 1,11

(MSDS BDH-130)

II.7 Katalis

Katalis menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga dapat mempercepat reaksi. Katalis pembuatan biodiesel dapat berupa katalis basa maupun asam. Pembuatan biodiesel dengan katalis basa, reaksi dapat berlangsung pada suhu kamar sedangkan dengan katalis asam, reaksi baru berjalan baik pada suhu sekitar 100°C. Bila tanpa katalis, reaksi membutuhkan suhu minimal 250°C (Kirk & Othmer, 1980)

Katalis yang paling sering digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah NaOH, KOH, dan H₂SO₄. Minyak dan methanol, dipanaskan dan diaduk bersama katalis atau sejenisnya. Namun, untuk katalis basa, katalis perlu dilarutkan dalam methanol terlebih dahulu sebelum dicampur dengan minyak. (Ricky Priambodo, et. al, 2015)

Katalis basa homogen dikembangkan untuk produksi biodiesel pada skala industri. Pada proses transesterifikasinya tergantung pada kandungan asam lemak bebasnya (free fatty acid,

FFA) atau kandungan airnya (Ma dkk., 1998). Katalis asam homogen tidak terpengaruh asam lemak bebas dan air. Namun membutuhkan waktu reaksi lebih lama dan rasio molar alkohol:minyak lebih tinggi (mencapai 245:1) (Zheng dkk., 2006). Katalis asam lebih korosif dibandingkan dengan katalis basa sehingga dapat merusak peralatan. (Luqman Buchori, dkk.)

Tabel II.6 Perbandingan Katalis Homogen dan Heterogen

Katalis Homogen	Katalis Heterogen
Fasa cair atau gas.	Fasa padat.
Setiap molekul katalis aktif sebagai katalis.	Memiliki pusat aktif yang tidak seragam.
Aktivitas dan selektivitas tinggi.	Aktivitas dan selektivitas rendah-tinggi.
Tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.	Dapat/mudah teracuni oleh adanya kotoran.
Sukar dipisahkan dari campuran reaksi.	Mudah dipisahkan dari campuran reaksi.
Mudah terurai pada temperatur tinggi.	Stabil pada temperatur tinggi.

II.7.1 Potassium Hidroksida (KOH)

a. Sifat fisik

Rumus Molekul	: KOH
Berat Molekul	: 56,11 g/mol
Titik lebur	: 380 °C
<i>Spesific Gravity</i>	: 2,044
Warna	: tak berwarna atau putih
Kelarutan	: Mudah larut dalam air dingin dan air panas. Tidak larut dalam dietil eter.

(MSDS ScienceLab.com)



Gambar II.5 Potassium Hidroksida (KOH)

II.8 Parameter yang Digunakan dalam Penentuan Karakteristik Biodiesel

Beberapa parameter dalam biodiesel diantaranya (Atabani, dkk, 2011)

II.8.1 Viskositas Kinematik

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan terhadap gaya gravitasi. Viskositas yang tinggi menunjukkan sifat pelumasan yang lebih baik. Pada umumnya bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula.

II.8.2 Flash Point

Flash Point adalah temperatur dimana pada temperatur tersebut akan memicu pembakaran saat terkena api. Hal ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Jika *flash point* terlalu rendah dapat menyebabkan bahaya api. Oleh karena itu *flash point* sebaiknya ditingkatkan di atas nilai minimum yang diizinkan.

II.8.3 Densitas

Densitas adalah perbandingan jumlah massa suatu zat terhadap volumenya. Untuk mengukur densitas liquid dapat menggunakan *hydrometer*. Adapun alat yang lebih sering

digunakan adalah piknometer. Densitas dapat berubah, tergantung pada tekanan atau temperatur.

II.8.4 Kadar Air

Kadar air dalam minyak merupakan salah satu tolok ukur mutu minyak. Makin kecil kadar air dalam minyak maka mutunya makin baik. Hal ini dapat memperkecil kemungkinan terjadinya reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas. Kandungan air dalam bahan bakar juga dapat menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbusa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam.

II.9 Penelitian Terdahulu

- Dedeh Murniasih (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2009) melakukan penelitian tentang kajian proses produksi biodiesel dari minyak biji nyamplung (*calophyllum inophyllum L.*). Hasil penelitian menunjukkan proses esterifikasi dengan perlakuan rasio molar metanol dengan asam lemak bebas 20:1 dan waktu 60 menit dapat menurunkan bilangan asam minyak nyamplung lebih rendah dibandingkan perlakuan lain, dari bilangan asam awal 41,88 mg KOH/g sampel menjadi 2,97 mg KOH/g sampel. Proses esterifikasi-esterifikasi-transesterifikasi, esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi dan esterifikasi-transesterifikasi-netralisasi menghasilkan biodiesel dengan viskositas dan bilangan asam yang rendah, namun rendemen kecil. Perlakuan terbaik yang dipilih dalam penelitian ini adalah berdasarkan kualitas biodiesel yang memenuhi standar SNI (no. 04-7182-2006) adalah proses esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi pada rasio molar metanol 20:1 selama 60 menit dengan bilangan asam 0,71 mg KOH/g sampel, viskositas 2,60 cSt, densitas yaitu 0,89 g/ml, kadar air 0,05 % dan rendemen 47,7 % (b/b).

- Sudrajat, dkk (Pusat Litbang Hasil hutan Bogor 2010) melakukan penelitian tentang proses trans-esterifikasi pada pembuatan biodiesel menggunakan minyak nyamplung dengan katalis NaOH. Dengan kondisi operasi optimum pada ratio molar minyak-metanol 1:6, konsentrasi katalis 1% pada temperature 600C dengan yield terbesar 69,8%.
- Atabani, dkk (*Department of Mechanical Engineering, University of Malaya*, 2011) melakukan penelitian tentang potensi minyak nyamplung sebagai salah satu stok bahan baku pembuatan biodiesel untuk masa mendatang. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa, *non-edible oil* yang diekstraksi dari nyamplung yang diperoleh dari Cilacap dan Kebumen layak digunakan sebagai stok bahan baku pembuatan biodiesel. Properti bahan bakar biodiesel yang dihasilkan sudah memenuhi standar ASTM D6751.
- Muhammad Umar Anif (Program Studi Agronomi, Program Pascasarjana, Universitas Jenderal Soedirman, 2011) melakukan penelitian tentang kajian kualitas dan hasil pengolahan biodiesel nyamplung (*colophyllum inophyllum*) pada variasi metode ekstraksi, metode *degumming* dan konsentrasi methanol. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa metode ekstraksi biji nyamplung untuk pengolahan biodiesel terbaik adalah ekstraksi metode kimia dengan rendemen terbesar 45 %, warna coklat bening, aroma khas minyak, dan viskositas 12,6 cSt.
- Rahayu Wilujeng dan Ayyu Fityatin (Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, 2011) melakukan penelitian tentang pembuatan biodiesel dengan memanfaatkan gelombang *microwave* dengan proses secara kontinyu. Dari penelitian tersebut didapat bahwa dihasilkan kualitas yield biodiesel terbaik pada daya *microwave* sebesar 400 watt yaitu 91,77%. Sedangkan rate aliran bawah paling efektif adalah sebesar 0,267ml/s, dimana dihasilkan yield maksimum dengan nilai yang memenuhi SNI.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan menggunakan radiasi gelombang mikro (*microwave-assisted transesterification*). Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh dari beberapa variabel seperti ukuran, daya, waktu dan konsentrasi katalis.

III.2 Bahan dan Peralatan

III.2.1 Bahan

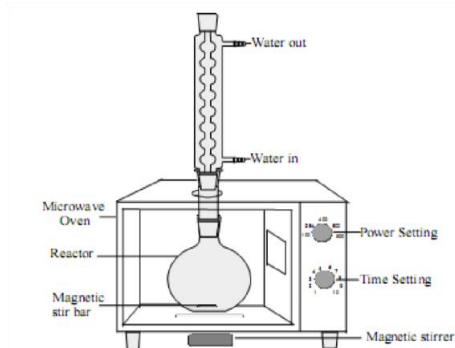
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Biji Nyamplung
2. Metanol (CH_3OH 98%)
3. Katalis KOH

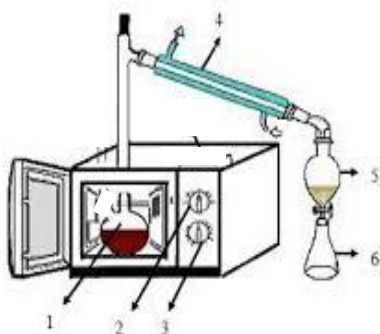
III.2.2 Peralatan

Peralatan proses yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan untuk Proses Ekstraksi



Gambar III.1 Serangkaian Alat Metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE)



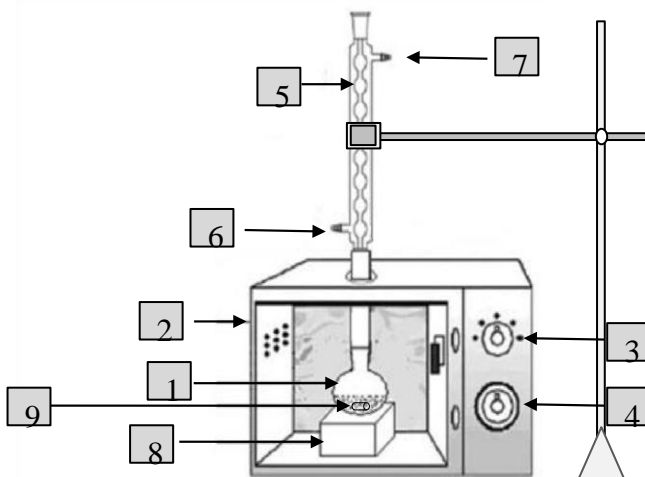
Keterangan :

1. Labu leher satu
2. *Power setting*
3. *Time setting*
4. Kondensor liebigh
5. Corong pemisah
6. Erlenmeyer
7. Termokopel

Gambar III.2 Serangkaian Alat Metode *Microwave-assisted Distillation*

2. Peralatan untuk Proses Transesterifikasi

Rancangan peralatan yang digunakan pada proses reaksi transesterifikasi seperti pada gambar III.1 di bawah ini.



Gambar III.3 Serangkaian Alat Metode *Microwave-assisted Transesterification*

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Reaktor labu leher satu | 6. Aliran air pendingin masuk |
| 2. <i>Microwave</i> | 7. Aliran air pendingin keluar |
| 3. Kontrol daya | 8. Alas labu leher satu |
| 4. Kontrol waktu | 9. <i>Magnetic stirrer</i> |
| 5. Kondensor reflux | |

III.3 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dari biji nyamplung adalah proses reaksi transesterifikasi dengan menggunakan metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE). Namun di dalam metode tersebut terdapat dua proses untuk memperoleh biodiesel yaitu proses *ex situ* dan *in situ*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya secara singkat dijelaskan sebagai berikut:

III.3.1 *Ex Situ*

A. Tahap Ekstraksi Minyak Biji Nyamplung

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Cangkang buah nyamplung dipecah untuk mendapatkan bijinya yang berwarna kuning
3. Memotong biji nyamplung ke dalam ukuran 4 dan 8 bagian
4. Mengeringkan potongan-potongan biji nyamplung tersebut ke dalam oven dengan menjaga suhunya $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam
5. Memasukkan potongan biji nyamplung ke dalam labu leher satu sebanyak 100 gram
6. Menambahkan pelarut n-heksana sebanyak 100 mL
7. Menghidupkan *microwave* dan melakukan proses ekstraksi *microwave* dengan variable daya 300, 450, dan 600 Watt selama 10, 20 dan 30 menit.
8. Setelah proses ekstraksi *Microwave* selesai, campuran antara minyak dan pelarut didestilasi pada daya 600 Watt

menggunakan *microwave* hingga pelarut terkondensasi seluruhnya selama 60 menit

9. Menghitung densitas, viskositas, dan % yield yang didapatkan

B. Tahap Degumming

1. Mengukur densitas minyak nyamplung
2. Menimbang minyak sebesar 5 mL ke dalam piknometer
3. Pemanasan minyak hingga suhu 80°C sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*
4. Menambahkan larutan asam phosphate konsentrasi 20% sebanyak 0,3% berat
5. Proses pengadukan selama ± 15 menit
6. Memasukkan dalam corong pemisah dan menambahkan aquadest 40°C kemudian dikocok sehingga air menyebar mengikat gum
7. Larutan didiamkan hingga terbentuk 2 lapisan, lapisan atas adalah *refined oil* dan lapisan bawah adalah air dan impurities
8. *Refined oil* dipanaskan dalam oven pada suhu 108°C selama 20 menit untuk pengurangan kadar air

(Atabani *et al.*, 2011)

C. Tahap Esterifikasi

1. Minyak hasil proses sebelumnya sebanyak 5 mL dimasukkan dalam labu alas bulat leher satu dalam *microwave*
2. Menambahkan H₂SO₄ sebanyak 13% (v/v) minyak dan methanol dengan rasio mol minyak dan methanol 1:40
3. Pengadukan dan pemanasan pada daya 150 Watt selama 60 menit sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*
4. Pendinginan, pencucian dan pemisahan dengan Aquadest pada suhu 40°C
5. Lapisan bawah adalah air, lapisan atas adalah campuran metil ester (*crude biodiesel*) dan minyak

6. Minyak kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 108°C selama 20 menit untuk mengurangi kadar air

D. Tahap Transesterifikasi dan Pemisahan

1. Minyak dari proses esterifikasi sebanyak 5 mL dimasukkan dalam labu alas bulat dalam *microwave*
2. Menambahkan katalis KOH dengan metanol sesuai perbandingan yang telah ditentukan
3. Mengatur daya dan waktu pemanasan di dalam *microwave* yang telah disesuaikan dengan variabel
4. Memanaskan campuran di dalam *microwave* dengan waktu dan daya yang sesuai variable sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*
5. Memindahkan hasil proses reaksi ke dalam corong pemisah
6. Mendinginkan dan mendinginkan campuran hingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas dan bawah
7. Memisahkan lapisan atas (biodiesel) dan lapisan bawah (gliserol) dengan pencucian menggunakan *aquadest* pada suhu 40°C dengan sebanyak 3 kali
8. Memanaskan produk biodiesel dalam oven pada suhu 108°C selama 20 menit untuk mengurangi kadar air

III.3.2 In Situ

Transesterifikasi yang dilakukan adalah tahapan transesterifikasi in situ, dimana proses ekstraksi dan proses transesterifikasi dilakukan di tempat yang sama (*microwave*). Tahapan-tahapannya adalah :

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Buah nyamplung dipecah untuk mendapatkan bijinya yang berwarna kuning
3. Memotong biji nyamplung ke dalam ukuran 4 dan 8 bagian.

4. Mengeringkan potongan-potongan biji nyamplung tersebut ke dalam oven dengan menjaga suhunya $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam
5. Mencampur dan mengaduk katalis KOH dengan metanol sesuai perbandingan yang telah ditentukan
6. Menimbang 100 gram biji nyamplung kemudian menambahkan pelarut n-heksana sebanyak 100 mL ke dalam labu leher satu
7. Biji nyamplung dan n-heksana yang sudah tercampur kemudian di tambahkan larutan metanol dan katalis yang telah dicampur sebelumnya.
8. Mengatur daya dan waktu pemanasan di dalam *microwave* yang disesuaikan dengan variabel
9. Memindahkan hasil proses reaksi ke dalam corong pemisah
10. Mencuci dan memisahkan lapisan atas campuran metil ester dan lapisan bawah katalis
11. Campuran metil ester dimasukkan kedalam labu leher satu kemudian di panaskan dengan *distilasi microwave* dengan daya 600 Watt selama 30 menit
12. Memindahkan hasil proses pemisahan ke dalam corong pemisah
13. Mendinginkan dan mendinginkan campuran hingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas dan bawah
14. Mencuci biodiesel dan *impurities* yang masih tersisa selama pemisahan menggunakan *aquadest* pada suhu 40°C sebanyak 3 kali
15. Memanaskan produk biodiesel dalam oven pada suhu 108°C selama 20 menit untuk mengurangi kadar air

III.3.3 Tahap Analisis Hasil

Menganalisis biodiesel yang diperoleh untuk mengetahui kualitas biodiesel dengan parameter uji sebagai berikut:

- a. Densitas
 - Peralatan
 - Piknometer
 - Neraca analitik
 - Pipet mata
- b. Viskositas
 - Peralatan
 - *Viscometer ostwald*
 - *Stopwatch*
 - Karet penghisap
 - Gelas ukur 10 mL
- c. % *Recovery*
- d. % FFA
 - Peralatan
 - Buret 25 mL
 - Etanol
 - Indikator PP
 - KOH
 - Erlenmeyer
 - Pipet tetes
 - Sampel bahan
- e. *Yield Biodiesel*
- f. Analisis *Gas Chromatogramaphic* (GC)

III.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada 5 jenis, yaitu katalis yang digunakan, variabel konsentrasi katalis, daya *microwave*, ukuran bahan dan waktu pemanasan di *microwave*. Variabel tiap jenisnya adalah sebagai berikut:

- Untuk variabel proses ekstraksi :
 - Daya (Watt) : 300, 450 dan 600
 - Ukuran : 4 bagian dan 8 bagian

- Waktu (menit) : 10, 20 dan 30
- Untuk variabel pembuatan biodiesel :
 - Katalis : KOH
 - Konsentrasi Katalis : 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 (% berat)
 - Daya (Watt) : 300, 450 dan 600
 - Waktu (menit) : 10, 20 dan 30
- Untuk variabel proses secara *In Situ* :
 - Katalis : KOH
 - Konsentrasi Katalis : 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 (% berat)
 - Daya (Watt) : 300, 450 dan 600
 - Waktu (menit) : 10, 20 dan 30
 - Ukuran : 4 bagian dan 8 bagian

III.5 Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang tetap dijaga dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

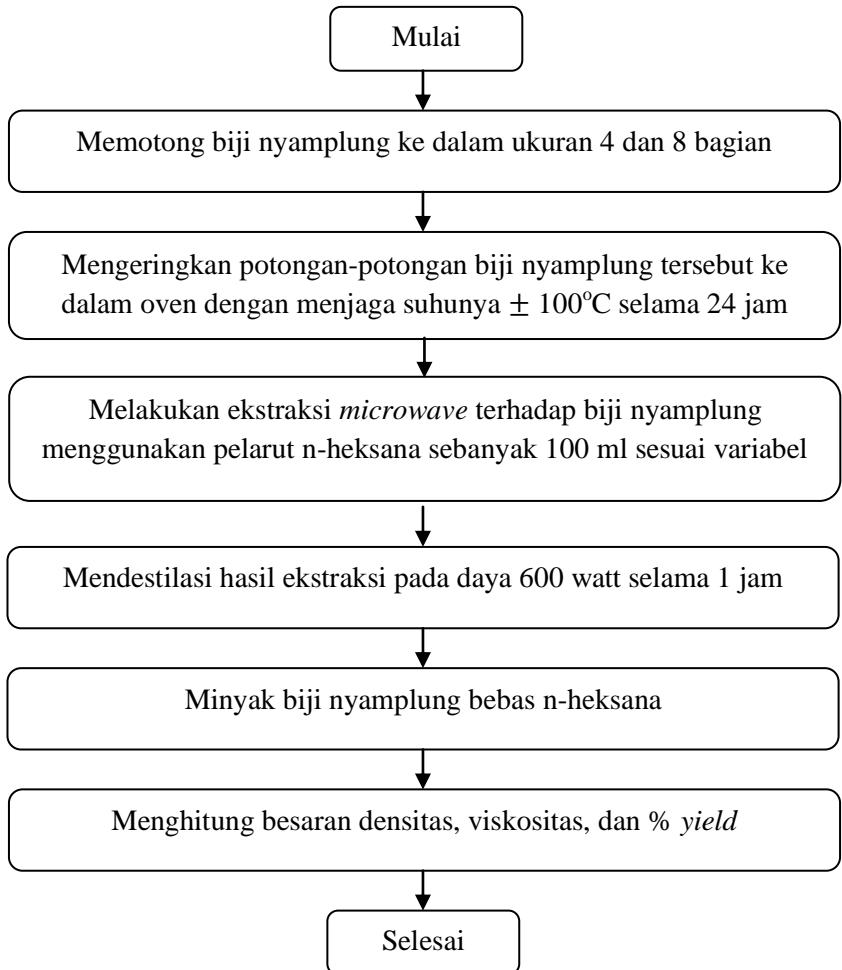
1. Tekanan atmosferik
2. Ratio minyak dan metanol 1 : 9 (mol)

III.6 Flowchart Prosedur Percobaan

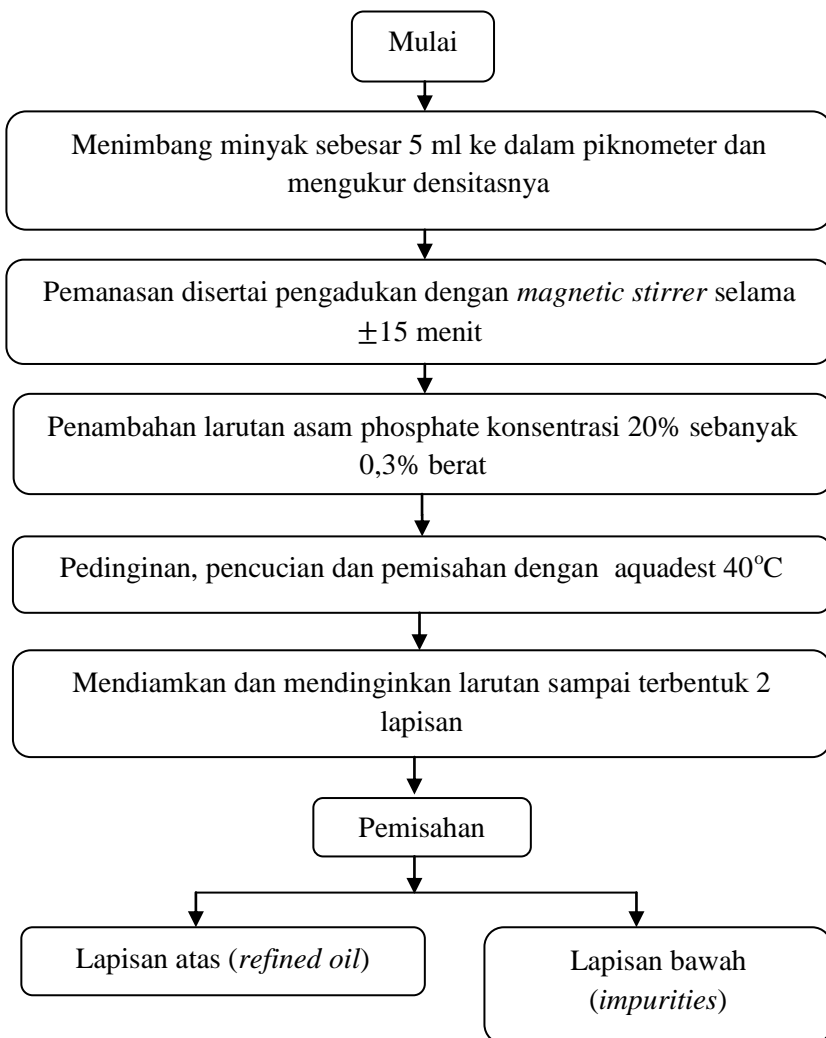
Pembuatan biodiesel dapat digambarkan dalam skema sebagai berikut :

III.6.1 *Ex Situ*

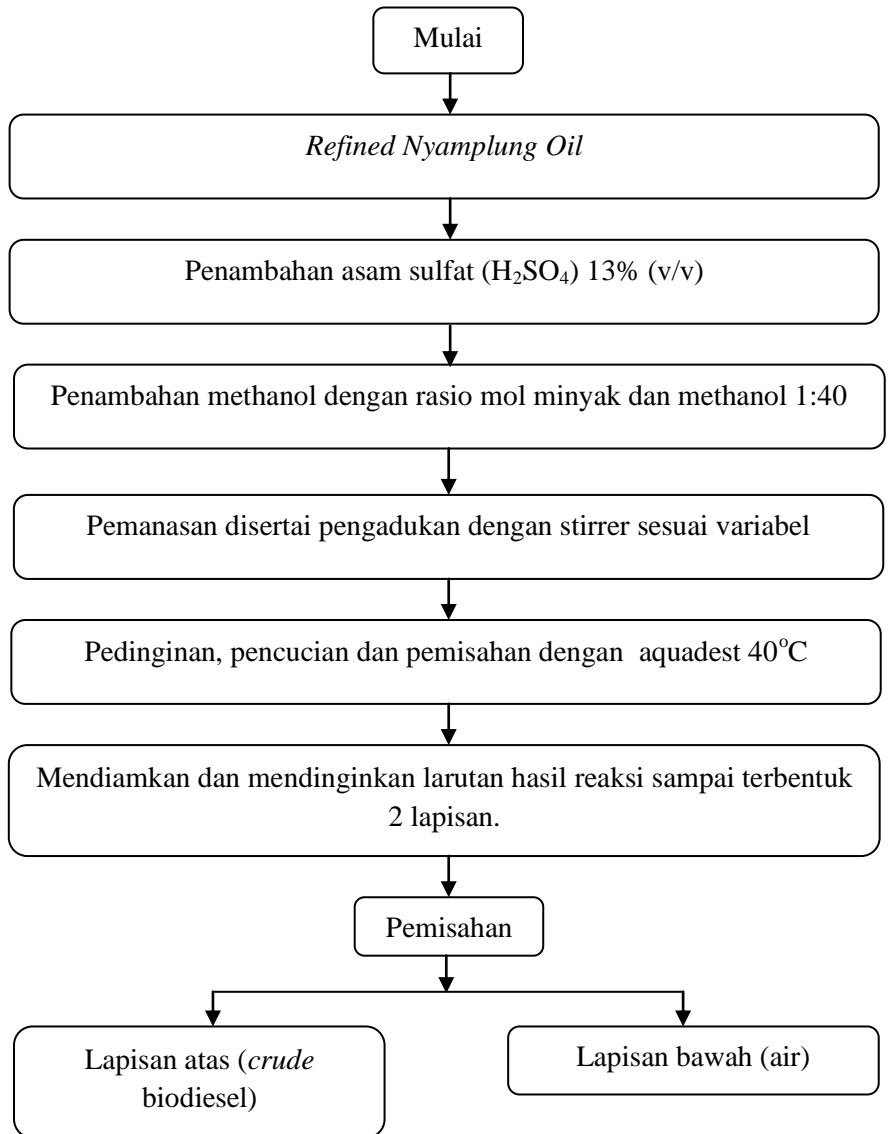
A. Tahap Ekstraksi Lipid Biji Nyamplung



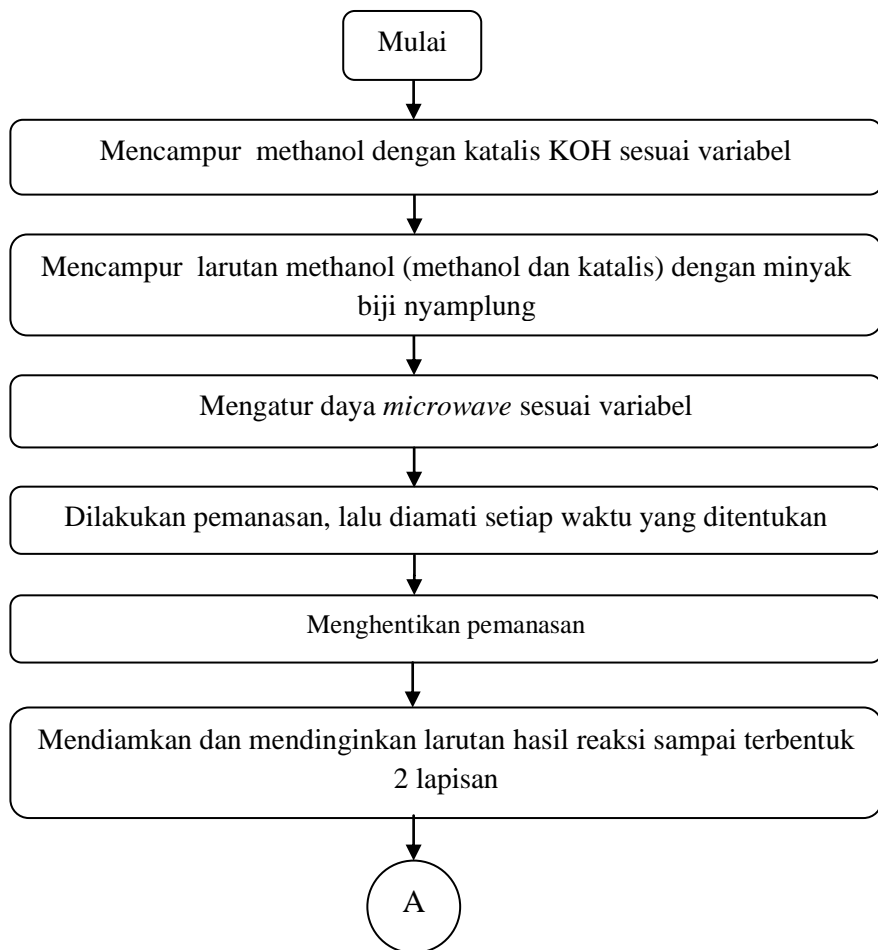
B. Tahap Degumming

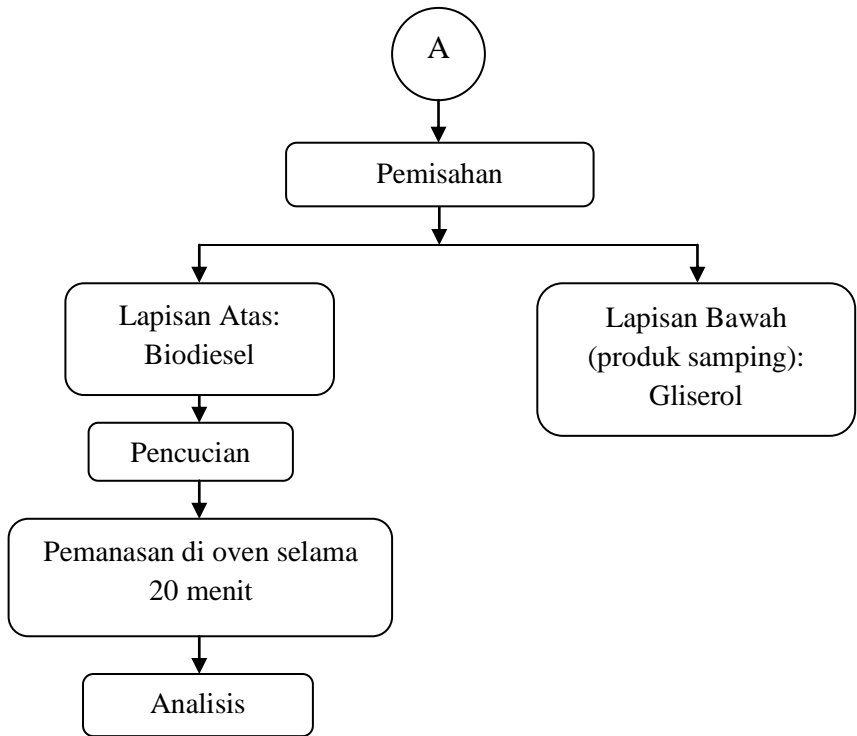


C. Tahap Esterifikasi

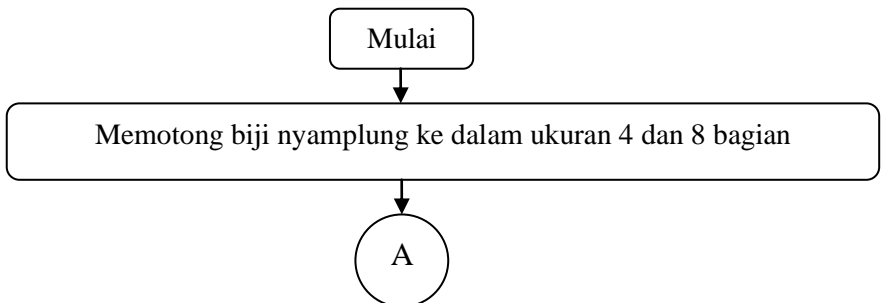


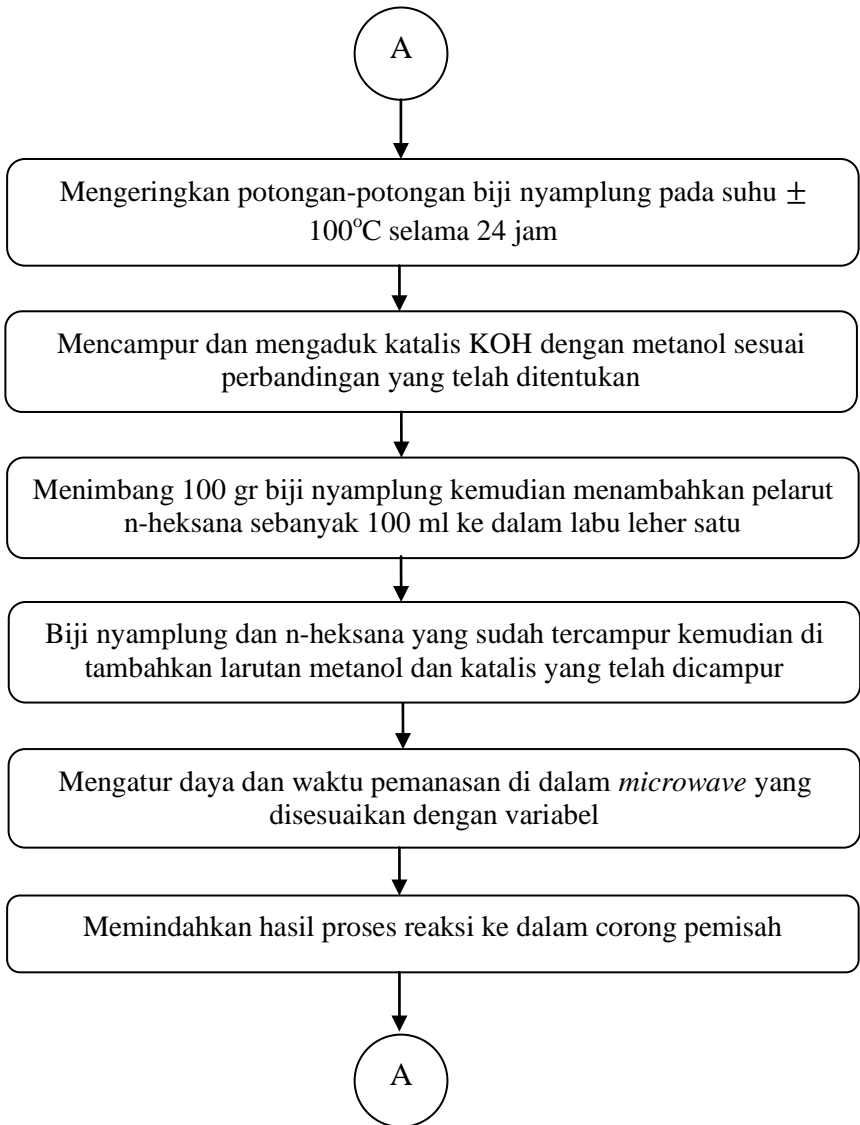
D. Tahap Transesterifikasi dan Pemisahan

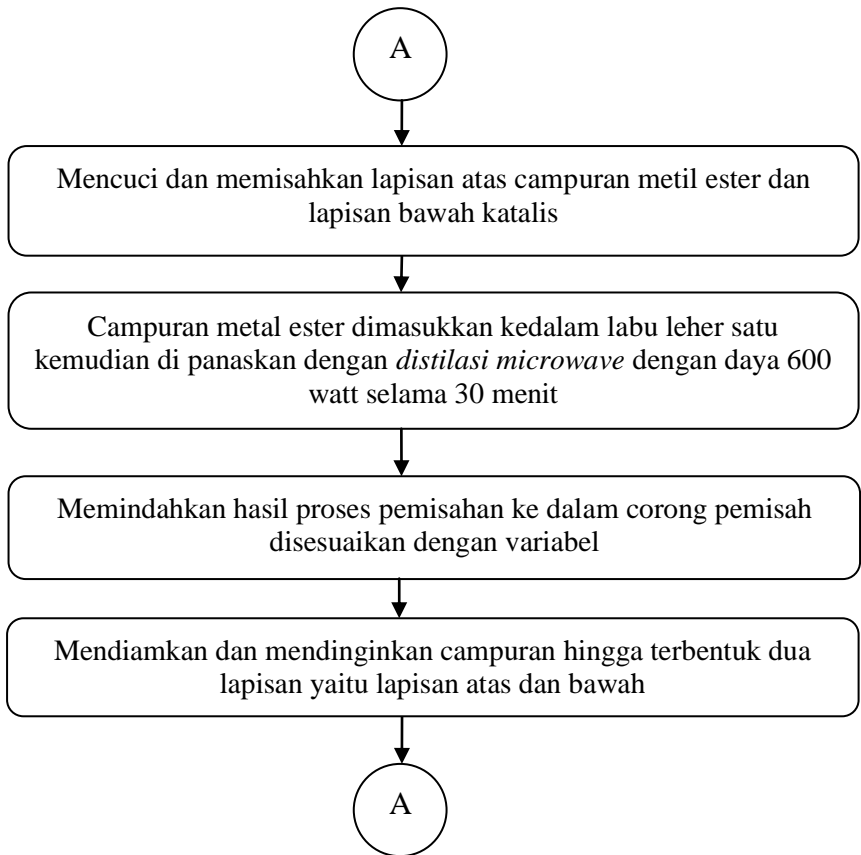


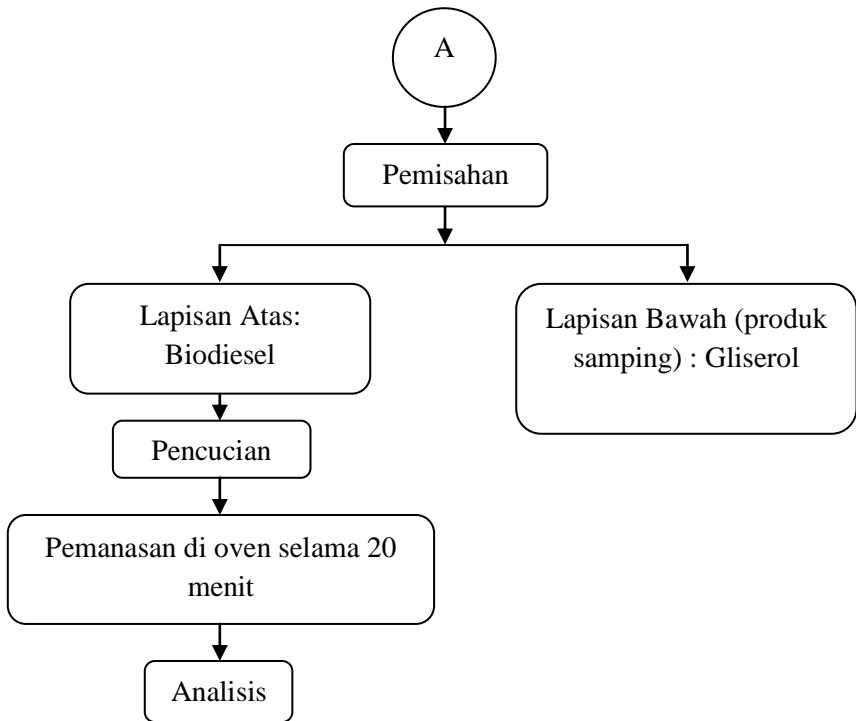


III.6.2 Tahap Proses Transesterifikasi *In Situ*









III.7 Analisis Data

Biodiesel yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak biji nyamplung menggunakan katalis padat dianalisa dengan beberapa pengukuran untuk mengetahui kadar dan kualitas

1. *Yield*

$$Yield \text{ Biodiesel} = \frac{\text{Massa Biodiesel}}{\text{Massa Minyak Nyamplung}}$$

2. *%Recovery*

$$\%Recovery = \frac{\text{minyak biji nyamplung hasil percobaan}}{\text{total minyak dalam biji nyamplung}} \times 100\%$$

3. %FFA

$$\%FFA = \frac{\text{volume KOH} \times M \text{ KOH} \times BM \text{ KOH}}{\text{Massa sampel} \times 1000} \times 100\%$$

4. Densitas

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Massa pikno dan sample} - \text{Massa pikno kosong}}{\text{Volume pikno}}$$

5. Viskositas

$$\text{Viskositas} = \text{faktor koreksi} \times \text{waktu pengukuran}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pembuatan biodiesel dari biji nyamplung dengan menggunakan *microwave* telah dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Pada penelitian pembuatan biodiesel ini, bahan baku yang digunakan adalah biji nyamplung, katalis padat KOH dan metanol. Perbandingan mol minyak biji nyamplung dengan metanol yang digunakan adalah 1:9. Penelitian ini menggunakan 4 variabel yaitu: ukuran bahan, daya *microwave*, konsentrasi katalis, dan waktu reaksi. Ukuran bahan yang digunakan yaitu 4 dan 8 bagian biji nyamplung dengan variasi daya *microwave* yang digunakan yaitu 300, 450, dan 600 W. Jumlah persen katalis yang digunakan adalah 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%. Waktu yang digunakan adalah 10, 20, dan 30 menit. Pembuatan biodiesel ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari keempat macam variabel pada produk biodiesel yang dihasilkan.

Tahapan penelitian ini dibagi menjadi 2, tahapan pertama yaitu pembuatan biodiesel dengan proses *ex situ* yang meliputi tahap ekstraksi, esterifikasi, dan transesterifikasi. Sedangkan pada tahapan kedua yaitu pembuatan biodiesel dengan proses *in situ* yang langsung melalui tahap transesterifikasi.

IV.1 *Ex Situ*

IV.1.1 Ekstraksi Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) dengan Metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE)

Proses pengambilan minyak biji nyamplung pada penelitian ini melalui 2 tahapan, yaitu ekstraksi dan distilasi. Ekstraksi adalah suatu proses yang bertujuan untuk memindahkan suatu komponen solute dari jaringannya dengan menggunakan pelarut (solvent). Dasar pemisahan ini adalah perbedaan daya larut dari tiap-tiap komponen ke dalam zat pelarut. Ekstraksi yang melibatkan zat padat sering disebut dengan *solvent extraction*, *washing* atau *leaching*. Pada penelitian ini, metode yang

digunakan adalah *Microwave-assisted Extraction* (MAE) dengan menggunakan *microwave* sebagai pemanas. Dasar dari proses MAE berbeda dari metode konvensional karena ekstraksi terjadi akibat perubahan struktur sel yang disebabkan oleh gelombang elektromagnetik. Pada metode MAE, energi gelombang mikro disampaikan langsung ke bahan melalui interaksi molekul dengan medan elektromagnetik melalui konversi energi elektromagnetik menjadi panas (Veggi *et al.*, 2103). Metode ekstraksi dengan menggunakan *microwave* ini dipilih karena pemanasan yang dibutuhkan cukup singkat dan solvenya dapat digunakan kembali. Proses ekstraksi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, daya, dan waktu kontak. Distilasi adalah proses pemisahan komponen-komponen campuran dari dua atau lebih cairan dengan menggunakan panas sebagai tenaga pemisah atau "*separating agent*". Pada proses pemisahan secara distilasi, fase uap akan segera terbentuk setelah sejumlah cairan dipanaskan. Uap dipertahankan kontak dengan sisa cairannya (dalam waktu yang relatif cukup), dengan harapan pada suhu dan tekanan tertentu antara uap dan sisa cairannya akan berada pada kesetimbangan sebelum cairan dipisahkan menjadi distilat dan residu. (Brown, G.G.1978). Distilasi pada penelitian ini menggunakan distilasi sederhana dengan memanfaatkan gelombang mikro (*microwave*) sebagai pemanas.

Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu adalah persiapan bahan baku untuk membuat minyak biji nyamplung. Buah nyamplung terlebih dahulu dipecah untuk mendapatkan bijinya yang berwarna kuning, kemudian memotong-motong biji nyamplung ke dalam ukuran 4 dan 8 bagian. Tujuan dari memperkecil ukuran bahan ini karena luas permukaan berpengaruh selama proses ekstraksi. Pada ukuran bahan yang kecil, akan menyebabkan luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan interaksi antara pelarut dengan zat warna dalam bahan. Hal ini akan mempercepat proses ekstraksi dan meningkatkan *yield* (Francis, 1982). Selanjutnya mengeringkan potongan-potongan biji nyamplung tersebut pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$

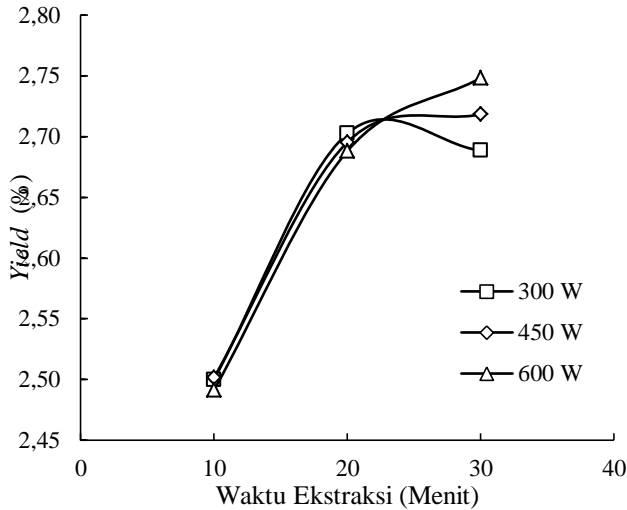
selama 24 jam. Pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air, mempercepat proses ekstraksi, dan memperbaiki mutu minyak pada biji nyamplung. Ekstraksi dilakukan menggunakan labu leher satu berukuran 1000 mL dengan memasukkan bahan baku sebanyak 100 gram dan menambahkannya dengan pelarut n-heksana sebanyak 100 mL. Bahan yang digunakan adalah biji nyamplung dengan variabel ukuran 4 dan 8 bagian. Variabel daya *microwave* yang digunakan adalah daya 300, 450, dan 600 W dengan variabel waktu yang digunakan adalah selama 10, 20, dan 30 menit.

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh beberapa variabel operasi dalam proses ekstraksi menggunakan metode MAE. Beberapa variabel yang berpengaruh meliputi ukuran bahan baku, daya *microwave*, dan waktu ekstraksi. Semua variabel yang berpengaruh dihubungkan terhadap densitas, viskositas, dan *yield* minyak yang dihasilkan dari hasil ekstraksi biji nyamplung (*calophyllum inophyllum*) dengan menggunakan metode MAE. Setelah melalui metode MAE, hasil dari proses tersebut langsung dilanjutkan ke proses distilasi dengan bantuan gelombang mikro (*microwave*) sebagai pemanas yang bertujuan untuk memisahkan minyak hasil ekstraksi terhadap pelarut n-heksana pada kondisi operasi 600 W selama 60 menit. Hasil pemisahan pelarut n-heksana tersebut kemudian dapat digunakan kembali untuk proses ekstraksi selanjutnya.

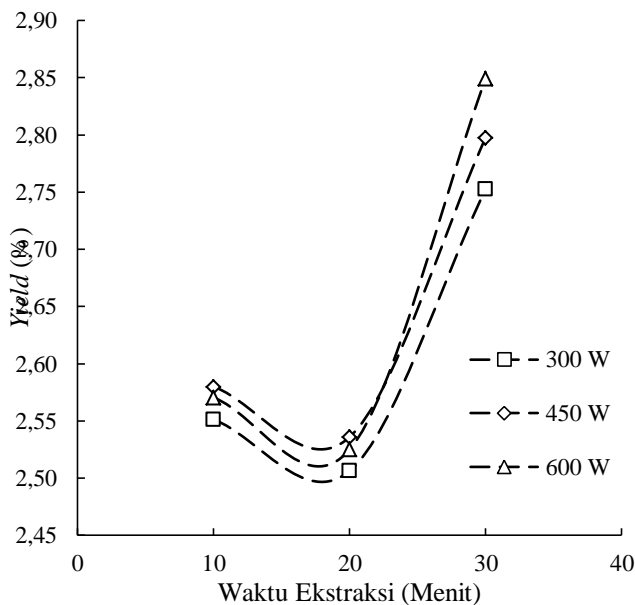
IV.1.2 Pengaruh Lama Waktu Ekstraksi terhadap Yield Minyak Biji Nyamplung

Microwave adalah radiasi gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi 0,3-300 GHz. *Microwave* berada di spektrum elektromagnetik antara gelombang inframerah dan gelombang radio dengan panjang gelombang antara 0,01 dan 1 m. Oven *microwave* komersial yang diperbolehkan untuk aplikasi domestik beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz untuk menghindari gangguan telekomunikasi dan frekuensi telepon seluler (Veera Gnaneswar Gude *et al.*, 2013).

Lama atau tidaknya waktu ekstraksi dengan menggunakan metode MAE akan berpengaruh pada *yield* minyak biji nyamplung yang dihasilkan dan juga kualitas minyak biji nyamplung yang terekstrak. Secara umum dengan semakin meningkatnya waktu ekstraksi, maka jumlah analit yang terekstrak akan semakin tinggi (Mandal *et al.*, 2007). Selain itu, penyerapan energi *microwave* di dalam sistem ekstraksi memicu akumulasi termal dalam pelarut yang mendorong pelarutan biji nyamplung ke dalam pelarut (Maran *et al.*, 2013).



Gambar IV.1 Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap *Yield* Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya *Microwave* yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.2 Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap *Yield* Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya *Microwave* yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.1 dan IV.2 menunjukkan *yield* minyak biji nyamplung mengalami peningkatan seiring dengan semakin meningkatnya daya *microwave* dan waktu ekstraksi yang digunakan. Hal ini disebabkan karena paparan radiasi yang tinggi akan mempersingkat waktu yang digunakan untuk meningkatkan suhu larutan, sehingga proses ekstraksi berlangsung dengan singkat untuk mencapai hasil yang optimum.

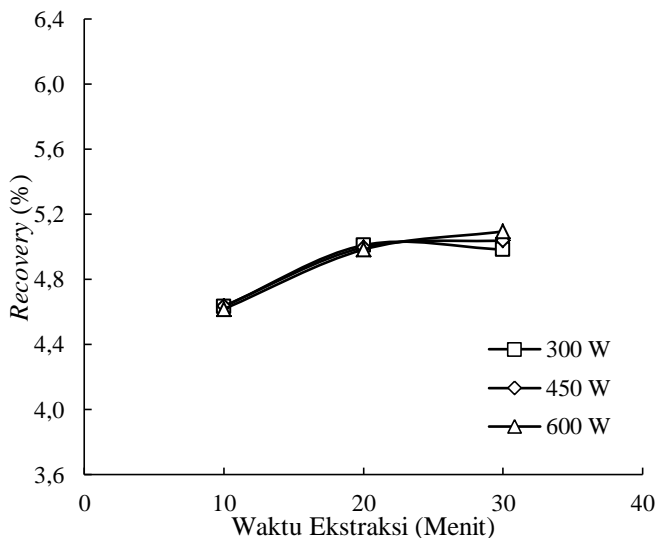
Pada ekstraksi dengan pelarut n-heksana pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.1, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing daya yaitu 30 menit dimana daya *microwave* 300 W diperoleh *yield* sebesar 2,6885%, daya *microwave* 450 W diperoleh *yield* sebesar 2,7184%, dan

daya *microwave* 600 W diperoleh *yield* sebesar 2,7482%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.2 diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing daya yaitu 30 menit di mana daya *microwave* 300 W diperoleh *yield* sebesar 2,7526%, daya *microwave* 450 W diperoleh *yield* sebesar 2,7976%, dan daya *microwave* 600 W diperoleh *yield* sebesar 2,8492%. Dilihat dari pengaruh variabel daya *microwave* terhadap *yield* minyak biji nyamplung dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi diperoleh ketika daya optimal 600 W untuk ukuran 4 bagian yaitu 2,7482% dan 8 bagian yaitu 2,8492%. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan pada proses *Microwave-assisted Extraction* (MAE) maka akan menghasilkan tingginya *yield*. (Akanksha V. Kanitkar, 2010). Hasil penelitian yang diperoleh Yingming *et al.*, (2010), menunjukkan bahwa efisiensi dari proses ekstraksi meningkat seiring dengan besarnya daya yang digunakan pada *microwave* dari 300 – 900 W. Hasil penelitian yang diperoleh Aliefa dan Yuniarta (2015), juga menunjukkan semakin lama waktu ekstraksi maka semakin tinggi pula *yield* yang dihasilkan. Untuk nilai *yield* lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.1.2 sampai dengan B.1.1.6.

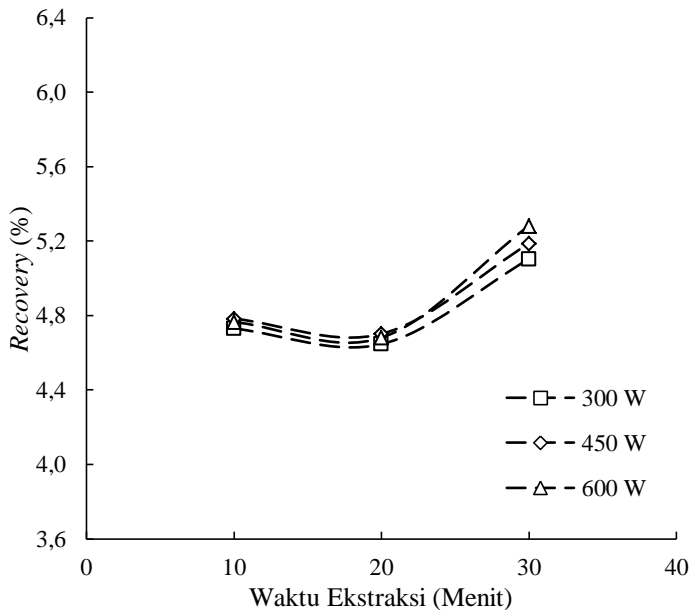
Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa waktu berpengaruh pada paparan gelombang mikro yang digunakan, semakin lama bahan terpapar oleh radiasi gelombang mikro mengakibatkan pecahnya jaringan bahan sehingga akan mengeluarkan senyawa terlarut ke dalam pelarut. Namun waktu paparan yang terlalu lama harus dihindari untuk mencegah terjadinya degradasi senyawa hasil ekstraksi. Semakin lama ekstraksi menyebabkan larutan menjadi jenuh dan daya ekstraknya menurun sehingga penambahan waktu tidak akan memberikan konsentrasi nyata (Wiratarkusumah *et al.*, 1992).

IV.1.3 % *Recovery* pada Hasil Ekstraksi Biji Nyamplung Metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE)

Perolehan *recovery* didapatkan dengan cara minyak yang diperoleh dari hasil percobaan dibandingkan dengan jumlah total minyak dalam biji nyamplung. Kandungan total minyak dalam biji nyamplung diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi *soxhlet* dengan pelarut n-heksana selama 4 jam yaitu sebesar 53,9417%.



Gambar IV.3 Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap *Recovery* Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya *Microwave* yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.4 Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap *Recovery* Minyak Biji Nyamplung pada setiap Daya *Microwave* yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.3 dan IV.4 menunjukkan *recovery* minyak biji nyamplung mengalami peningkatan seiring dengan semakin meningkatnya daya *microwave* dan waktu ekstraksi yang digunakan. Ekstraksi dengan pelarut n-heksana pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.3, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing daya adalah 30 menit di mana daya *microwave* 300 W diperoleh *recovery* sebesar 4,9841%, daya *microwave* 450 W diperoleh *recovery* sebesar 5,0395%, dan daya *microwave* 600 W diperoleh *recovery* sebesar 5,0948%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.4 diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing daya yaitu 30 menit di mana daya *microwave* 300 W diperoleh

recovery sebesar 5,1030%, daya *microwave* 450 W diperoleh *recovery* sebesar 5,1863%, pada daya *microwave* 600 W diperoleh *recovery* sebesar 5,2821%.

Dilihat dari pengaruh variabel daya *microwave* terhadap *recovery* minyak biji nyamplung dapat diketahui bahwa akumulasi *recovery* tertinggi untuk ekstraksi biji nyamplung dengan menggunakan pelarut n-heksana diperoleh ketika daya optimal 600 W pada ukuran bahan baku 4 bagian yaitu sebesar 5,0948%. Sedangkan pada ukuran bahan baku 8 bagian didapatkan nilai *recovery* tertinggi yaitu sebesar 5,2821%. Nilai akumulasi *recovery* yang lain untuk ekstraksi biji nyamplung dengan metode MAE dapat dilihat pada Appendix B (tabel B.1.1.2 sampai dengan B.1.1.6).

IV.1.4 Degumming

Degumming berfungsi sebagai reagen untuk mengendapkan logam-logam dengan membentuk garam dan *hydratable gum* yang menyebabkan terjadi kehilangan rasa, timbulnya bau pada minyak (Asiedu, 1989) dan mengurangi efektivitas pada proses netralisasi (deasidifikasi) (Mwale, 1987).

Kondisi operasi pada proses ini menggunakan suhu 80°C selama 15 menit dan konsentrasi asam fosfat yang digunakan 20% sebanyak 0,3% massa (Atabani *et al.*, 2011). Hasil analisis ekstraksi biji nyamplung pada kondisi optimal untuk ukuran bahan baku 4 bagian yaitu densitas 0,9664 g/mL, viskositas (40°C) 58,0390 cSt, dan kadar FFA 30,7845%. Sedangkan kondisi optimal untuk ukuran bahan baku 8 bagian yaitu densitas 0,9665 g/mL, viskositas (40°C) 57,6326 cSt, dan kadar FFA 32,5053%. Setelah mengalami proses *degumming*, minyak biji nyamplung mengalami perubahan warna yang mulanya cokelat kehitaman menjadi cokelat kekuningan dan mengalami penurunan untuk ukuran bahan baku 4 bagian yaitu densitas 0,9640 g/mL, viskositas (40°C) 55,3466 cSt, dan kadar FFA 28,8428%. Sedangkan untuk ukuran bahan baku 8 bagian mengalami penurunan yaitu densitas 0,9644 g/mL, viskositas (40°C) 55,0926

cSt, dan kadar FFA 30,8490%. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa setelah terjadi proses *degumming* pada minyak biji nyamplung akan mengalami penurunan yaitu densitas dari 0,944 g/mL menjadi 0,94 g/mL, viskositas (40°C) dari 56,7 cSt menjadi 53,4 cSt, dan %FFA dari 29,53% menjadi 27,21% (Atabani *et al.*, 2011).

IV.1.5 Karakteristik Bahan Baku

Pada tabel IV.1 menunjukkan perbandingan karakteristik bahan baku minyak biji nyamplung hasil uji ekstraksi menggunakan metode *Microwave-assisted Extraction* (MAE) dengan pelarut n-heksana terhadap metode *Hydraulic manual pressing machine & screw extruder machine* oleh *Ministry of Forestry of the Republic of Indonesia (The Forestry Research and Development Agency, 2008)* :

Tabel IV.1 Perbandingan Uji Karakteristik Kualitas Bahan Baku

	Pengujian	Sebelum <i>Degum- ming</i>	Setelah <i>Degum- ming</i>	% Penurun- an	Total
<i>The Forestry Research and Developme nt Agency, 2008</i>	Densitas pada 20°C (g/mL)	0,944	0,94	0,4237%	6,2438%
	Viskositas Kinematik pada 40°C (cSt)	56,7	53,4	5,8201%	
	Densitas pada 20°C (g/mL)	0,9665	0,9644	0,2256%	4,6328%
	Viskositas Kinematik pada 40°C (cSt)	57,6326	55,0926	4,4072%	
Hasil Pengujian					

Pada tabel IV.1 dapat diketahui bahwa total penurunan untuk pengujian densitas dan viskositas pada penelitian ini nilainya lebih kecil dibandingkan dengan data yang dimiliki oleh *The Forestry Research and Development Agency*, 2008. Dengan demikian komposisi asam lemak minyak biji nyamplung mengacu pada data yang dimiliki oleh *The Forestry Research and Development Agency*, 2008 yaitu sebagai berikut :

Tabel IV.2 Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Nyamplung

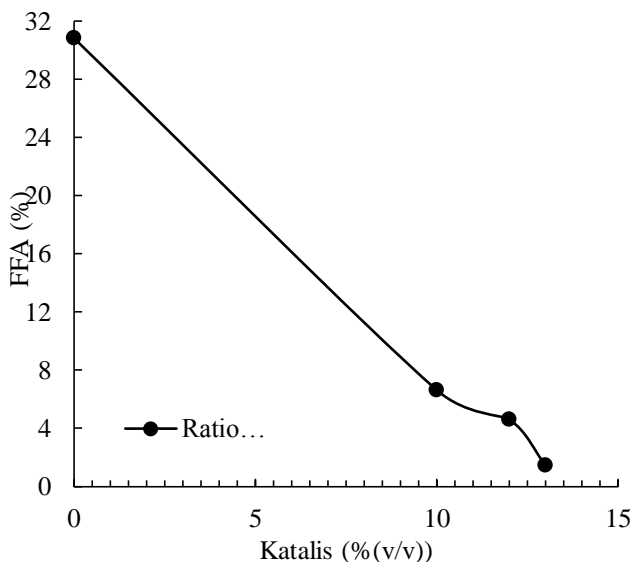
Asam Lemak	Nama Sistematis	Rumus Molekul	Komposisi (%)
Asam Myristate	Tetradecanoic	$C_{14}H_{28}O_2$	0,09
Asam Palmitate	Hexadecanoic	$C_{16}H_{32}O_2$	14,6
Asam Stearat	Octadecanoic	$C_{18}H_{36}O_2$	19,96
Asam Oleat	cis-9-octadecenoic	$C_{18}H_{34}O_2$	37,57
Asam Linoleat	cis-9, cis-12-octadecadienoic	$C_{18}H_{32}O_2$	26,33
Asam Linolenat	cis-9-cis-12	$C_{18}H_{30}O_2$	0,27
Asam Arachidate	Eicosanoic	$C_{20}H_{40}O_2$	0,94
Asam Erukate	(Z)-Docos-13-enoic acid	$C_{22}H_{42}O_2$	0,24

Dengan diketahuinya komponen asam lemak, maka berat molekul dari minyak tersebut dapat dihitung. Dari hasil perhitungan didapatkan berat molekul minyak biji nyamplung sebesar 871,9014 g/mol.

IV.1.6 Esterifikasi

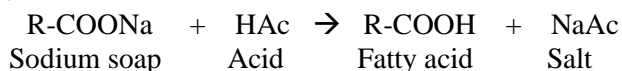
Proses esterifikasi adalah reaksi reversibel dimana asam lemak bebas (*free fatty acid*/FFA) dikonversi menjadi alkil ester

melalui katalis asam (HCl atau umumnya H_2SO_4). Proses esterifikasi mengikuti mekanisme reaksi yang sama seperti transesterifikasi katalis asam (Loteri *et al.*, 2005). Kadar FFA minyak nyamplung yang sangat tinggi (28,8428 –30,8490%) memerlukan kondisi operasi yang terbaik untuk dapat menurunkan hingga $< 2\%$.



Gambar IV.5 Pengaruh Kadar Katalis H_2SO_4 terhadap % FFA

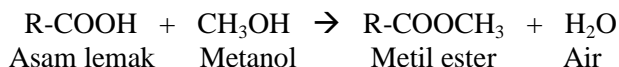
Dari gambar IV.5 menunjukkan bahwa %FFA mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan semakin meningkatnya kadar katalis H_2SO_4 yang digunakan. Hal ini disebabkan karena penentu keberhasilan produksi biodiesel adalah kadar FFA. Kadar FFA yang tinggi dalam produksi biodiesel mampu memicu terjadinya reaksi saponifikasi yang akan berakibat pada penurunan kadar *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang dihasilkan.



Reaksi saponifikasi ini merupakan reaksi yang terjadi antara asam lemak bebas (FFA) dengan katalis basa, sehingga efektivitas katalis akan menurun karena sebagian katalis bereaksi dengan asam lemak. Selain itu, kondisi tersebut akan menurunkan kadar metil ester yang dihasilkan dan mempersulit proses pemisahan metil ester dengan gliserol (Canacki *et al.*, 1999. Tiwari (2007) menyatakan bahwa kadar FFA minyak diatas 2% akan menurunkan tingkat rendemen yang dihasilkan dan meningkatkan pembentukan sabun, sehingga proses pemisahan biodiesel dan gliserol menjadi sulit. Freedman and Pryde (1982); Liu (1994); Mittelbach *et al.*, (1990); Wang *et al.*, (2001); Chanacki (2003), Tiwari *et al.*, (2007) dan Yingying *et al.*, (2012) menyatakan bahwa kadar FFA minyak diatas 2% tidak disarankan menggunakan katalis basa (reaksi transesterifikasi) secara langsung tanpa menurunkan kadar FFA nya dengan menggunakan katalis asam (reaksi esterifikasi). Penggunaan katalis asam seperti HCl dan H₂SO₄ pada reaksi esterifikasi mampu menurunkan kadar FFA minyak dibawah 2% (Alptekin *et al.*, 2011). Reaksi esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kandungan asam lemak pada minyak hingga $\leq 2\%$, (Ghadge dan Raheman, 2005 dan Canacki *et al.*, 1999).

Penelitian ini memilih metanol sebagai jenis alkohol pereaktannya mengingat metanol adalah senyawa alkohol berantai karbon terpendek dan bersifat polar, sehingga dapat bereaksi lebih cepat dengan asam lemak, dapat melarutkan semua jenis katalis (baik basa maupun asam), dan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi bila dibandingkan dengan penggunaan etanol maupun alkohol (Fangui Ma *et al.*, 1999). Pada proses ini menggunakan daya tetap 150 W karena diinginkan suhu operasi berjalan 60°C dengan waktu reaksi 1 jam (Atabani *et al.*, 2011). Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa kondisi reaksi terbaik pada rasio mol minyak-metanol 1:40 dengan konsentrasi katalis H₂SO₄ 13% (v/v) dan kadar akhir FFA 1,4415% sehingga proses transesterifikasi dapat dilakukan. Pada tahap esterifikasi ini, kandungan trigliserida dalam minyak tidak mengalami reaksi

menjadi metil ester dikarenakan pada akhir proses tidak terbentuk gliserol. Hal ini menunjukkan bahwa pada minyak dengan kadar FFA tinggi bila berada pada kondisi asam, reaksi yang terjadi cenderung antara FFA dan metanol (esterifikasi) bukan antara trigliserida dan metanol (transesterifikasi).

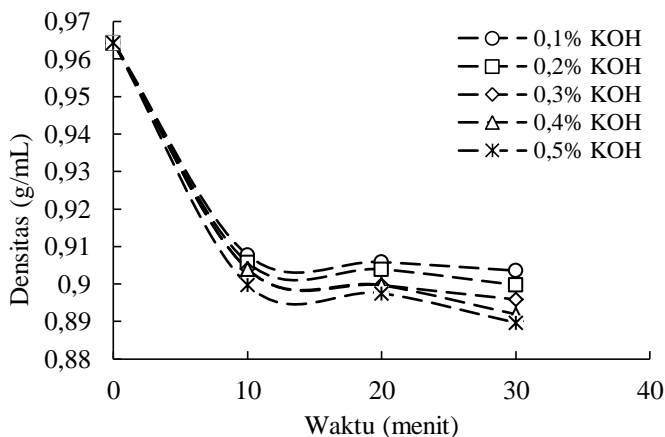


IV.1.7 Transesterifikasi

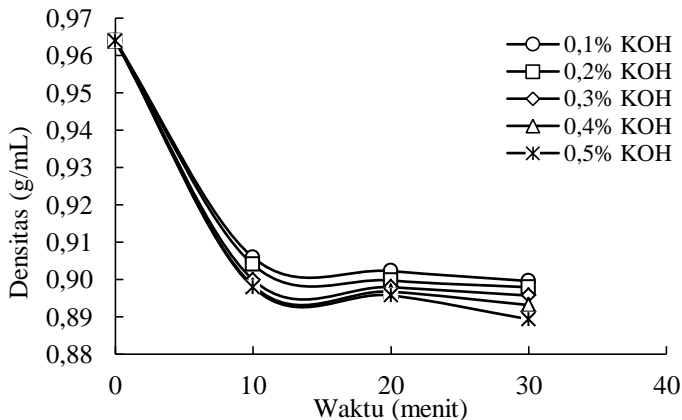
Transesterifikasi adalah tahap utama dalam proses pembuatan biodiesel karena bertujuan untuk mengubah trigliserida menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau biodiesel.

IV.1.7.1 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Produk Biodiesel

Densitas adalah perbandingan jumlah massa suatu zat terhadap volumenya pada suhu tertentu. Semakin rendah suhu, maka berat jenis biodiesel akan semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. Keberadaan gliserol dalam biodiesel memengaruhi densitas biodiesel karena gliserol memiliki densitas yang cukup tinggi (1,26 g/cm³). Sehingga jika gliserol tidak terpisah dengan baik dari biodiesel, maka densitas biodiesel akan meningkat. Minyak biji nyamplung diukur dengan menggunakan piknometer 5 mL. Batas densitas yang diizinkan oleh SNI (0,850-0,890 g/mL pada suhu 40°C).



Gambar IV.6 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



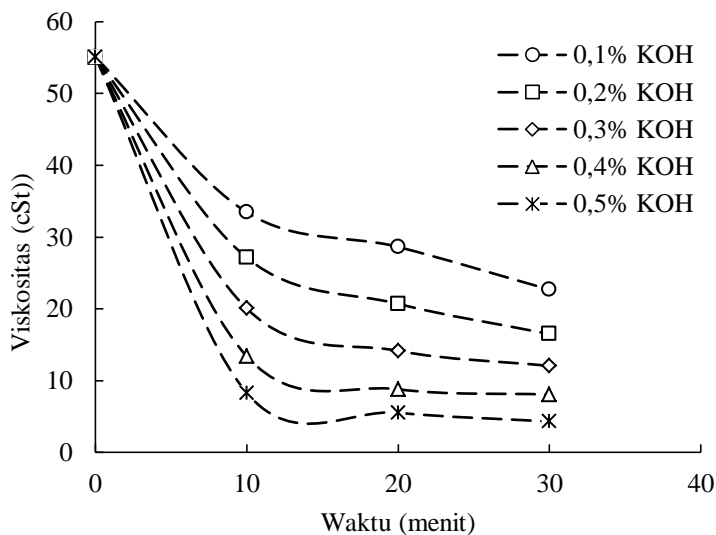
Gambar IV.7 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.6 dan IV.7 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan, maka nilai densitas yang didapatkan semakin menurun. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Transesterifikasi dengan katalis KOH pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.6, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh densitas sebesar 0,8996 g/mL, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh densitas sebesar 0,8979 g/mL, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh densitas sebesar 0,8957 g/mL, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh densitas sebesar 0,8931 g/mL, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh densitas sebesar 0,8893 g/mL. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.7, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh densitas sebesar 0,9036 g/mL, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh densitas sebesar 0,8997 g/mL, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh densitas sebesar 0,8959 g/mL, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh densitas sebesar 0,8919 g/mL, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh densitas sebesar 0,8897 g/mL.

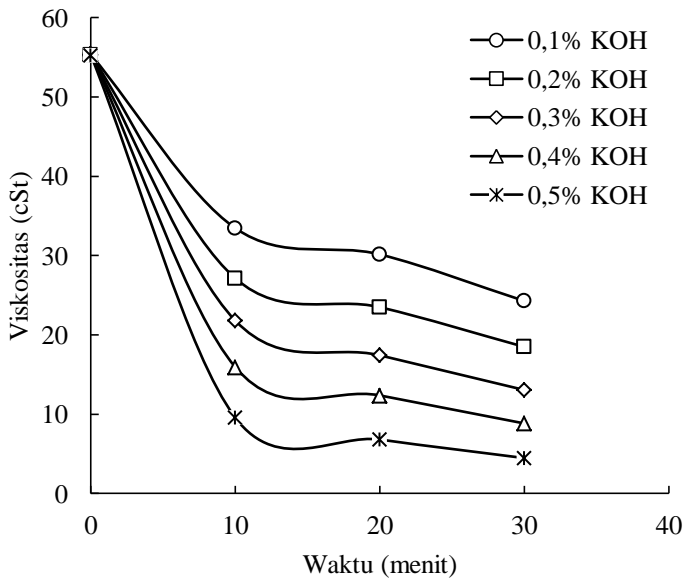
Densitas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 0,8893 g/mL dan pada ukuran 8 bagian yaitu 0,8897 g/mL dimana nilai ini sesuai dengan standard densitas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada waktu 30 menit dengan variabel konsentrasi 0,5% dan daya 600 W. Untuk nilai densitas lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Densitas adalah perbandingan antara bobot dan volume, yaitu sifat yang tidak bergantung pada banyaknya bahan. Penurunan nilai densitas akan menyebabkan nilai viskositas semakin kecil. Penurunan densitas dipengaruhi oleh tahap pemurnian karena tahap pemurnian yang kurang baik dapat menyebabkan densitas biodiesel memiliki densitas yang bervariasi (Wahyuni, Ade, 2010).

IV.1.7.2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Produk Biodiesel

Minyak biji nyamplung mempunyai viskositas kinematik yang tinggi, yaitu sebesar 53,4 cSt. (*Ministry of Forestry of the Republic of Indonesia (The Forestry Research and Development Agency)*, 2008). Dengan adanya proses transesterifikasi minyak biji nyamplung menjadi biodiesel, maka akan terjadi penurunan pada viskositas kinematiknya. Dimana sesuai SNI 7182:2015, standar viskositas pada biodiesel adalah 2,3 – 6,0 cSt. Dari uji yang dilakukan pada biodiesel standar *blending* B80 (80% biodiesel dan 20% solar) didapatkan viskositasnya adalah 3,70 cSt. Dimana nilai viskositas ini akan digunakan sebagai acuan pada analisis penelitian ini.



Gambar IV.8 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.9 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.8 dan IV.9 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan pada proses transesterifikasi, maka nilai viskositas yang didapatkan semakin kecil. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Transesterifikasi dengan katalis KOH pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.8, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh viskositas sebesar 24,2824 cSt, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh viskositas sebesar 18,4912 cSt, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh viskositas sebesar 13,0556 cSt, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh viskositas sebesar 8,8392 cSt, dan konsentrasi KOH 0,5%

diperoleh viskositas sebesar 4,4704 cSt. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.9, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh viskositas sebesar 22,6822 cSt, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh viskositas sebesar 16,4846 cSt, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh viskositas sebesar 12,0396 cSt, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh viskositas sebesar 8,0518 cSt, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh viskositas sebesar 4,2926 cSt.

Viskositas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 4,4704 cSt dan pada ukuran 8 bagian yaitu 4,2926 cSt dimana nilai ini sesuai dengan standard viskositas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada waktu 30 menit dengan variabel konsentrasi 0,5% dan daya 600 W. Dengan demikian, adanya peningkatan daya akan memberikan efek thermal yang besar yang ditandai dengan adanya kenaikan suhu dan penurunan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan (Quitain *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa lama waktu reaksi yang digunakan berbanding lurus dengan penurunan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan (Evangelista *et al.*, 2012). Untuk nilai viskositas lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu dan daya memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas yang dihasilkan. Pentingnya nilai viskositas biodiesel ini karena dapat mempengaruhi kinerja dari mesin dan karakter emisinya. Semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk memompa dan menginjeksi bahan bakar (Tesfa *et al.*, 2010).

IV.1.7.3 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Produk Biodiesel

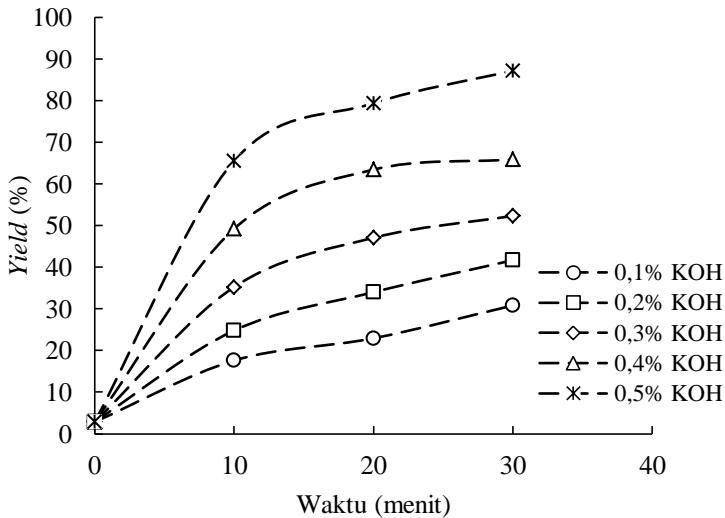
Yield merupakan perbandingan antara massa produk biodiesel dengan massa bahan baku awal (minyak biji nyamplung). Data massa biodiesel yang didapat dari percobaan bukan merupakan biodiesel murni dikarenakan adanya *impurities*

selama proses berlangsung. Namun, kemurnian suatu produk tersebut dapat dicari dengan menggunakan pendekatan penurunan viskositas minyak biji nyamplung menjadi biodiesel dari persamaan Arrhenius sebagai berikut :

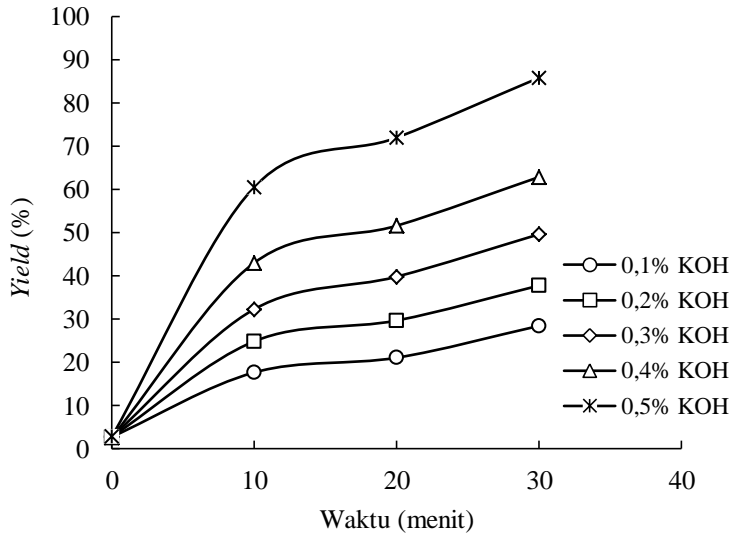
$$\ln (\eta_{\max}) = x_1 n(\eta_1) + x_2 \ln(\eta_2) \quad (4-1)$$

Berdasarkan persamaan (4-1) di atas kemudian dilakukan perhitungan kadar metil ester hasil transesterifikasi pada berbagai variabel

(Tesfa *et al.*, 2010)



Gambar IV.10 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.11 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

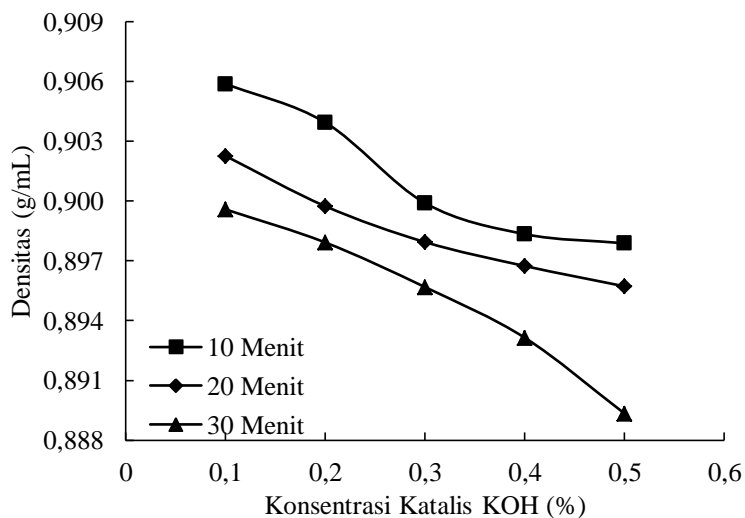
Dari gambar IV.10 dan IV.11 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemanasan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai *yield* ini dikarenakan semakin lama waktu dari percobaan, maka semakin banyak trigliserida dalam minyak biji nyamplung yang akan bereaksi dengan metanol dan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh lama waktu pemanasan terhadap *yield* biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.10, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh *yield* sebesar 28,42%, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh *yield* sebesar 37,7402%, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh *yield* sebesar 49,6056%,

konsentrasi KOH 0,4% diperoleh *yield* sebesar 62,8448%, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh *yield* sebesar 85,8053%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.11, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh *yield* sebesar 30,788%, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh *yield* sebesar 41,6684%, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh *yield* sebesar 52,3145%, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh *yield* sebesar 65,8565%, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh *yield* sebesar 87,1812%.

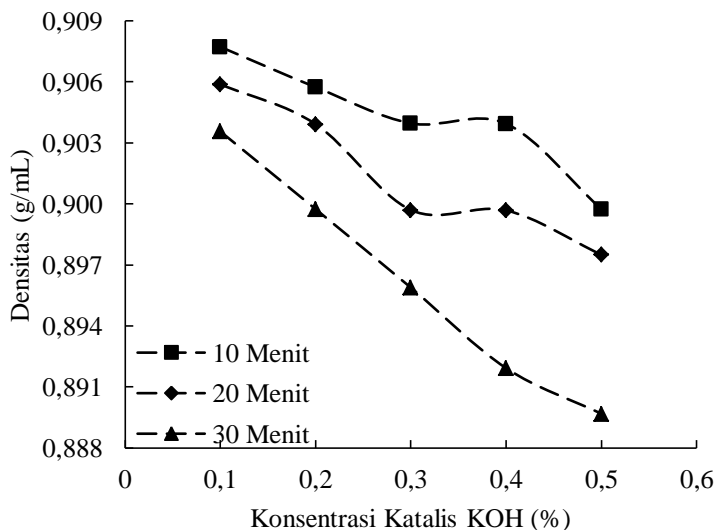
Dilihat dari pengaruh variabel waktu pemanasan terhadap *yield* biodiesel dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi yang didapatkan untuk ukuran 4 bagian yaitu 85,8053% dan 8 bagian yaitu 87,1812%. Nilai ini didapatkan pada waktu 30 menit dengan variabel konsentrasi 0,5% dan daya 600 W. Untuk nilai *yield* yang lain dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dalam hal ini dapat dikatakan dengan adanya peningkatan waktu pemanasan, waktu yang dibutuhkan metanol untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi semakin banyak sehingga menyebabkan kenaikan *yield* produk biodiesel yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan pada proses transesterifikasi maka akan menghasilkan tingginya *yield* dari biodiesel. (Serio *et al.*, 2008). Hasil penelitian yang diperoleh A. Talebian-Kiakalaieh (2013) juga menunjukkan bahwa waktu pemanasan berpengaruh terhadap *yield* yang dihasilkan. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu pemanasan memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan.

IV.1.7.4 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Produk Biodiesel

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap berat jenis biodiesel digunakan variasi daya operasi 300, 450, dan 600 W dengan variasi waktu operasi 10 menit, 20 menit, dan 30 menit untuk konsentrasi katalis KOH 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%.



Gambar IV.12 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.13 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

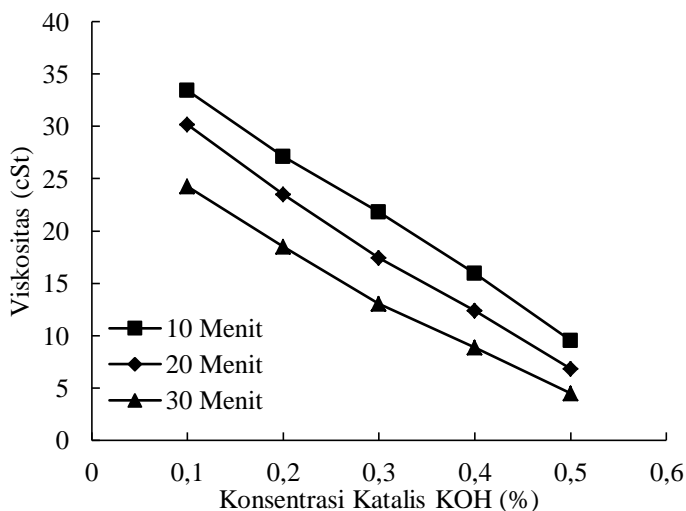
Pada Gambar IV.12 dan IV.13 menunjukkan bahwa densitas biodiesel menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis KOH. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap densitas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.12, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh densitas sebesar 0,8979 g/mL, waktu 20 menit diperoleh densitas sebesar 0,8957 g/mL, dan waktu 30 menit diperoleh densitas sebesar 0,8893 g/mL. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.13, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan

yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh densitas sebesar 0,8997 g/mL, waktu 20 menit diperoleh densitas sebesar 0,8975 g/mL, dan waktu 30 menit diperoleh densitas sebesar 0,8897 g/mL.

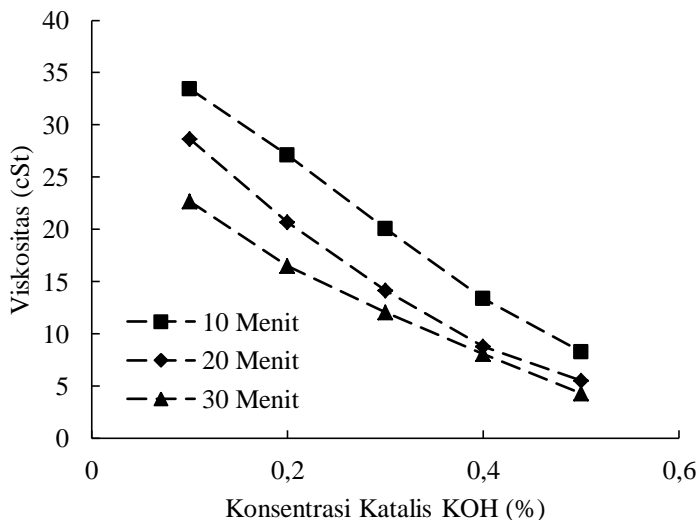
Densitas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 0,8893 g/mL dan pada ukuran 8 bagian yaitu 0,8897 g/mL dimana nilai ini sama seperti nilai densitas biodiesel yang berpengaruh terhadap waktu pemanasan dan sesuai dengan standard densitas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada konsentrasi katalis 0,5% dengan variabel waktu 30 menit dan daya 600 W. Hal ini sesuai dengan pendapat Peterson (2001) yang menyatakan bahwa penggunaan katalis basa yang berlebih akan menyebabkan reaksi penyabunan. Hal ini memungkinkan adanya zat pengotor seperti sabun kalium dan gliserol hasil reaksi penyabunan, asam-asam lemak yang tidak terkonversi menjadi metil ester (biodiesel), air, kalium hidroksida sisa, kalium metoksida sisa ataupun sisa metanol yang menyebabkan massa jenis biodiesel menjadi lebih besar begitu sebaliknya jika penggunaan katalis basa dengan konsentrasi kecil menyebabkan massa jenis biodiesel menjadi rendah. Hingu *et al.*, (2010); Koh *et al.*, (2011); Wang *et al.*, (2012) menyatakan bahwa Jenis katalis dan konsentrasi yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan yang mengakibatkan nilai densitas biodiesel yang bervariasi dan batas maksimal penggunaan konsentrasi KOH adalah < 2%. Ramadhas *et al.*, (2005) juga menyatakan bahwa dalam proses transesterifikasi pembuatan biodiesel, akan dihasilkan metil ester dan gliserol. Apabila terjadi reaksi penyabunan dalam proses transesterifikasi mengakibatkan biodiesel yang terbentuk lebih susah dipisahkan dengan gliserol. Gliserol yang terikut dalam biodiesel mengakibatkan kerapatan dalam biodiesel menjadi lebih besar, sehingga terlihat lebih keruh. Oleh karena itu dengan meningkatnya penggunaan H_2SO_4 akan mengurangi reaksi penyabunan yang mengurangi gliserol dalam biodiesel, sehingga berat jenisnya semakin rendah.

IV.1.7.5 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Produk Biodiesel

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap viskositas biodiesel digunakan variasi daya operasi 300, 450, dan 600 W dengan variasi waktu operasi 10 menit, 20 menit, dan 30 menit untuk konsentrasi katalis KOH 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%.



Gambar IV.14 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.15 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

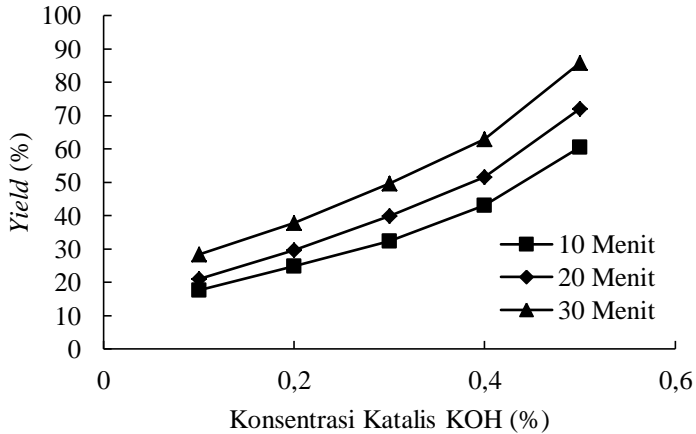
Pada Gambar IV.14 dan IV.15 menunjukkan bahwa viskositas biodiesel mengalami penurunan seiring dengan semakin meningkatnya konsentrasi katalis KOH yang digunakan. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap viskositas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.14, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh viskositas sebesar 9,5504 cSt, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar 6,8072 cSt, dan waktu 30 menit diperoleh viskositas sebesar 4,4704 cSt. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.15, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana

waktu 10 menit diperoleh viskositas sebesar 8,2804 cSt, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar 5,5118 cSt, dan waktu 30 menit diperoleh viskositas sebesar 4,2926 cSt.

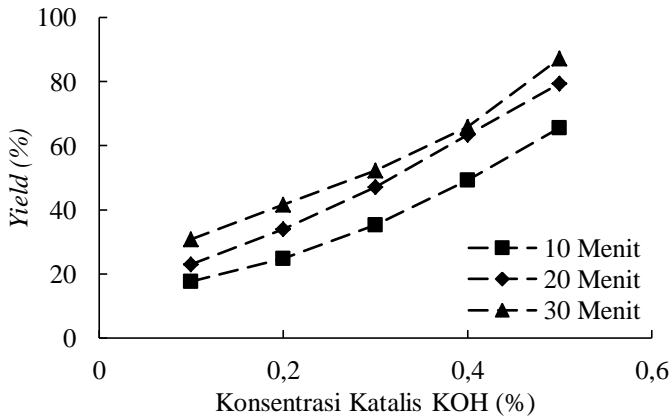
Viskositas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 4,4704 cSt dan pada ukuran 8 bagian yaitu 4,2926 cSt dimana nilai ini sama seperti nilai viskositas biodiesel yang berpengaruh terhadap waktu pemanasan dan sesuai dengan standard viskositas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada konsentrasi katalis 0,5% dengan variabel waktu 30 menit dan daya 600 W. Katalis dalam proses produksi biodiesel merupakan suatu bahan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi dengan jalan menurunkan energi aktivasi (*actifation energy*, Ea). Proses produksi akan berlangsung sangat lambat dan membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi tanpa menggunakan katalis. (Darnoko, D, Cheryan M., 2000). Pada umumnya bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Untuk nilai viskositas lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa konsentrasi katalis dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas dari biodiesel.

IV.1.7.6 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap *Yield* Produk Biodiesel

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap *yield* biodiesel digunakan variasi daya operasi 300, 450, dan 600 W dengan variasi waktu operasi 10 menit, 20 menit, dan 30 menit untuk konsentrasi katalis KOH 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5%



Gambar IV.16 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.17 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Dari gambar IV.16 dan IV.17 dapat dilihat bahwa semakin banyak konsentrasi katalis dari KOH yang digunakan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai dari *yield* ini dikarenakan semakin banyak trigliserida dalam minyak biji nyamplung yang akan bereaksi dengan metanol dengan bantuan katalis yang akan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap viskositas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.16, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh *yield* sebesar 60,5257%, waktu 20 menit diperoleh *yield* sebesar 71,9494%, dan waktu 30 menit diperoleh *yield* sebesar 85,8503%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.17, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh *yield* sebesar 65,5089%, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar *yield* sebesar 79,3456%, dan waktu 30 menit diperoleh *yield* sebesar 87,1812%.

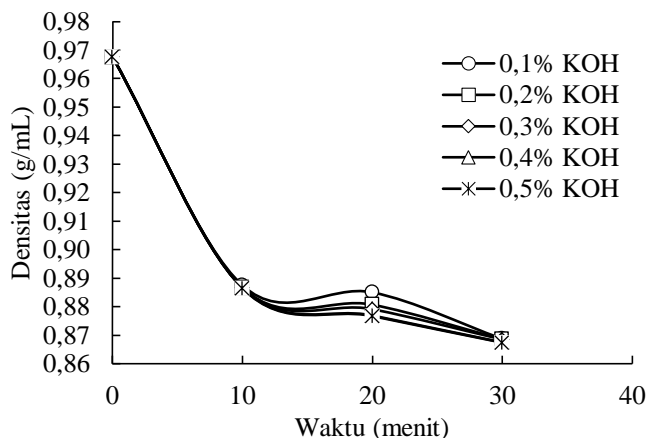
Dilihat dari pengaruh variabel konsentrasi katalis KOH terhadap *yield* biodiesel dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi yang didapatkan untuk ukuran 4 bagian yaitu 85,8503% dan 8 bagian yaitu 87,1812%. Nilai ini didapatkan pada konsentrasi katalis 0,5% dengan variabel waktu 30 menit dan daya 600 W. Untuk nilai *yield* yang lain dapat dilihat pada table B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa semakin besar konsentrasi katalis pada campuran maka semakin cepat reaksi itu berlangsung dan penambahan konsentrasi dari katalis memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan. Penggunaan katalis yang melebihi 2% berat akan mengakibatkan penurunan nilai *yield*. Selain itu, katalis basa yang berlebih juga akan terikut pada lapisan organik, sehingga asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku akan bereaksi dengan katalis basa berlebih dan membentuk reaksi saponifikasi yang dapat

menghambat pembentukan metil ester yang diharapkan. Sabun dari hasil transesterifikasi akan meningkatkan viskositas dari biodiesel dan mengganggu pemisahan gliserol dan juga turunnya yield metil ester (Ramadhas, dkk., 2005; Ashwath, 2010). Canackiet *et al.*, (1999) dan Ramadhas *et al.*, (2005) menyebutkan bahwa minyak berkandungan asam lemak tinggi (> 2% FFA) tidak sesuai digunakan dalam reaksi transesterifikasi karena asam lemak dalam minyak akan bereaksi dengan katalis basa (reaksi penyabunan). Minyak biji nyamplung memiliki kandungan asam lemak cukup tinggi yaitu sebesar 30,823%. Oleh karena itu meningkatnya penggunaan jumlah katalis H_2SO_4 akan mengurangi %FFA dan meningkatkan yield biodiesel yang terbentuk.

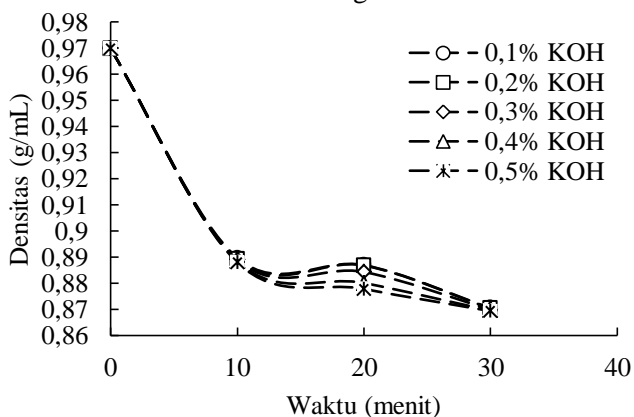
IV.2 *In Situ*

Transesterifikasi *in situ* merupakan langkah yang lebih sederhana dalam memproduksi monoalkil ester asam lemak dengan mengeliminasi proses ekstraksi dan pemurnian minyak sehingga dapat menurunkan biaya produksi biodiesel (Haas *et al.*, 2004). Trigliserida yang digunakan dalam proses transesterifikasi *in situ* berasal dari bahan baku sumber minyak dan bukan berasal dari minyak yang sudah diekstrak dan dimurnikan terlebih dahulu (Qian *et al.*, 2008)

IV.2.1 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Produk Biodiesel



Gambar IV.18 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian

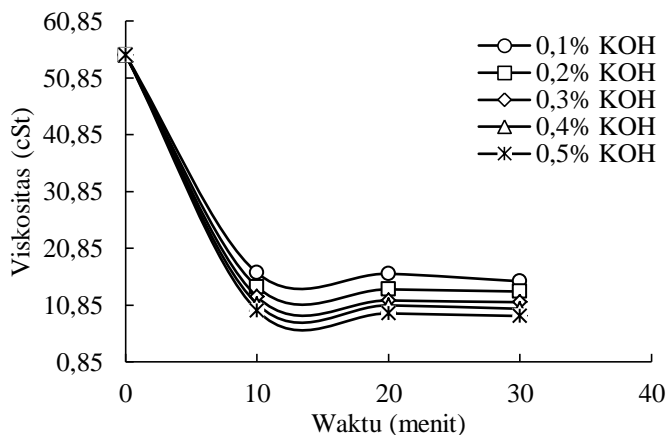


Gambar IV.19 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

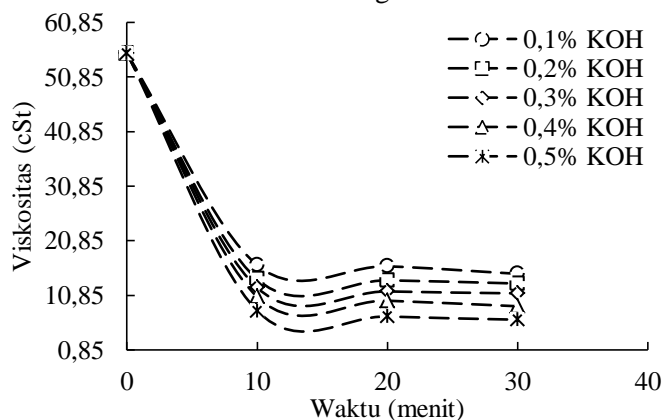
Pada Gambar IV.18 dan IV.19 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan, maka nilai densitas yang didapatkan semakin menurun. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Transesterifikasi dengan katalis KOH pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.18, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh densitas sebesar 0,8687 g/mL, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh densitas sebesar 0,8686 g/mL, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh densitas sebesar 0,8685 g/mL, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh densitas sebesar 0,8675 g/mL, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh densitas sebesar 0,8674 g/mL. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.19, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh densitas sebesar 0,8705 g/mL, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh densitas sebesar 0,8704 g/mL, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh densitas sebesar 0,8699 g/mL, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh densitas sebesar 0,8695 g/mL, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh densitas sebesar 0,8693 g/mL.

Densitas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 0,8674 g/mL dan pada ukuran 8 bagian yaitu 0,8693 g/mL dimana nilai ini sesuai dengan standard densitas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada waktu 30 menit dengan variabel konsentrasi 0,5% dan daya 600 W. Densitas adalah perbandingan antara bobot dan volume, yaitu sifat yang tidak bergantung pada banyaknya bahan. Penurunan nilai densitas akan menyebabkan nilai viskositas semakin kecil. Penurunan densitas dipengaruhi oleh tahap pemurnian karena tahap pemurnian yang kurang baik dapat menyebabkan densitas biodiesel memiliki densitas yang bervariasi (Wahyuni, Ade, 2010).

IV.2.2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Produk Biodiesel



Gambar IV.20 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



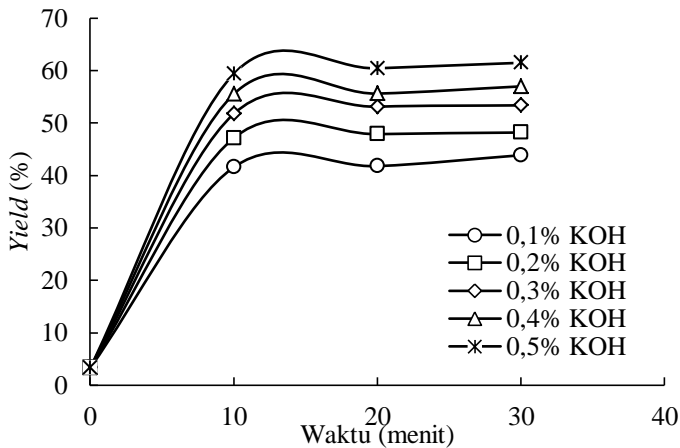
Gambar IV.21 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.20 dan IV.21 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan pada proses transesterifikasi, maka nilai viskositas yang didapatkan semakin kecil. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Transesterifikasi dengan katalis KOH pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.20, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 30 menit, pada konsentrasi KOH 0,1% diperoleh viskositas sebesar 15,0368 cSt, pada konsentrasi KOH 0,2% diperoleh viskositas sebesar 13,2334 cSt, pada konsentrasi KOH 0,3% diperoleh viskositas sebesar 11,3538 cSt, pada konsentrasi KOH 0,4% diperoleh viskositas sebesar 10,1854 cSt, dan pada konsentrasi KOH 0,5% diperoleh viskositas sebesar 8,9154 cSt. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.21, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 30 menit, pada konsentrasi KOH 0,1% diperoleh viskositas sebesar 14,7828 cSt, pada konsentrasi KOH 0,2% diperoleh viskositas sebesar 13,0048 cSt, pada konsentrasi KOH 0,3% diperoleh viskositas sebesar 11,2014 cSt, pada konsentrasi KOH 0,4% diperoleh viskositas sebesar 8,8392 cSt, dan pada konsentrasi KOH 0,5% diperoleh viskositas sebesar 6,3754 cSt.

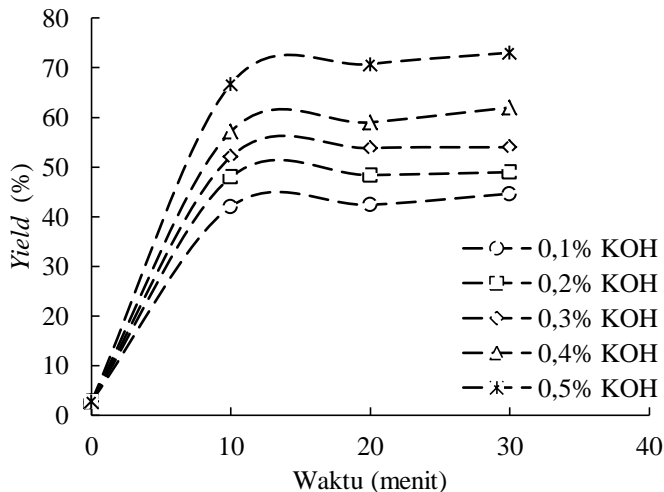
Viskositas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 8,9154 cSt dan pada ukuran 8 bagian yaitu 6,754 cSt dimana nilai ini belum sesuai dengan standard viskositas pada SNI 7182:2015. Ketidaksesuaian tersebut dikarenakan di dalam produk biodiesel masih terkandung gliserol dan sabun yang menyebabkan nilai viskositas dari penelitian ini masih di atas ketentuan SNI 7182:2015. Menurut Ramadhas *et al.*, (2005); Ashwath, (2010) menyatakan bahwa katalis basa yang berlebih juga akan terikut pada lapisan organik, sehingga asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku akan bereaksi dengan katalis basa berlebih dan membentuk reaksi saponifikasi yang dapat menghambat pembentukan metil ester yang diharapkan. Sabun dari hasil transesterifikasi akan meningkatkan viskositas

dari biodiesel dan mengganggu pemisahan gliserol dan juga turunnya yield metil ester. Canackiet *et al.*, (1999) dan Ramadhas *et al.*, (2005). Untuk nilai viskositas lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu dan daya memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas yang dihasilkan. Pentingnya nilai viskositas biodiesel ini karena dapat mempengaruhi kinerja dari mesin dan karakter emisinya. Semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk memompa dan menginjeksi bahan bakar (Tesfa *et al.*, 2010).

IV.2.3 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Yield Produk Biodiesel



Gambar IV.22 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



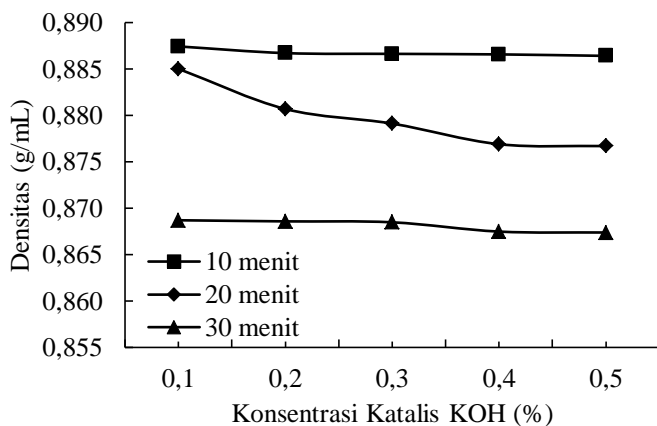
Gambar IV.23 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Konsentrasi Katalis KOH yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada gambar IV.22 dan IV.23 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemanasan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai *yield* ini dikarenakan semakin lama waktu dari percobaan, maka semakin banyak trigliserida dalam minyak yang terkandung pada biji nyamplung yang akan bereaksi dengan metanol dan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh lama waktu pemanasan terhadap *yield* biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.22, diperoleh waktu optimal untuk masing-masing konsentrasi KOH yaitu 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh *yield* sebesar 43,8544%, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh *yield* sebesar 48,1779%, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh *yield* sebesar 53,3632%, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh *yield* sebesar

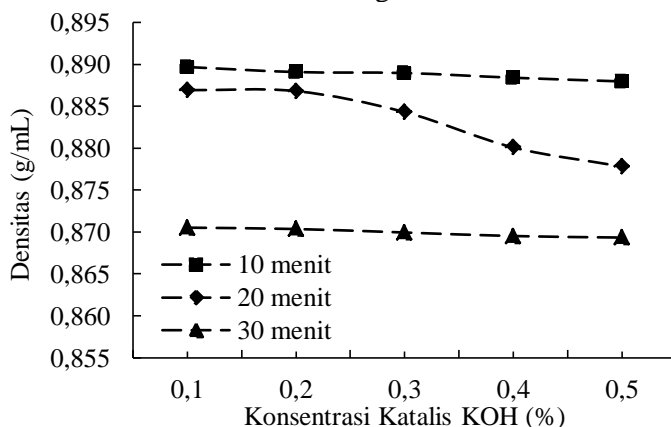
56,9773%, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh *yield* sebesar 61,4776%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.23, diperoleh waktu optimal yang sama untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 30 menit di mana konsentrasi KOH 0,1% diperoleh *yield* sebesar 44,6214%, konsentrasi KOH 0,2% diperoleh *yield* sebesar 48,9559%, konsentrasi KOH 0,3% diperoleh *yield* sebesar 53,9887%, konsentrasi KOH 0,4% diperoleh *yield* sebesar 61,9811%, dan konsentrasi KOH 0,5% diperoleh *yield* sebesar 73,0284%.

Dilihat dari pengaruh variabel waktu pemanasan terhadap *yield* biodiesel dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi yang didapatkan untuk ukuran 4 bagian yaitu 61,4776% dan 8 bagian yaitu 73,0284%. Nilai ini didapatkan pada waktu 30 menit dengan variabel konsentrasi 0,5% dan daya 600 W. Untuk nilai *yield* yang lain dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dalam hal ini dapat dikatakan dengan adanya peningkatan waktu pemanasan, waktu yang dibutuhkan metanol untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi semakin banyak sehingga menyebabkan kenaikan *yield* produk biodiesel yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan pada proses transesterifikasi maka akan menghasilkan tingginya *yield* dari biodiesel. (Serio *et al.*, 2008). Hasil penelitian yang diperoleh A. Talebian-Kiakalaieh (2013) juga menunjukkan bahwa waktu pemanasan berpengaruh terhadap *yield* yang dihasilkan. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu pemanasan memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan.

IV.2.4 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Produk Biodiesel



Gambar IV.24 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



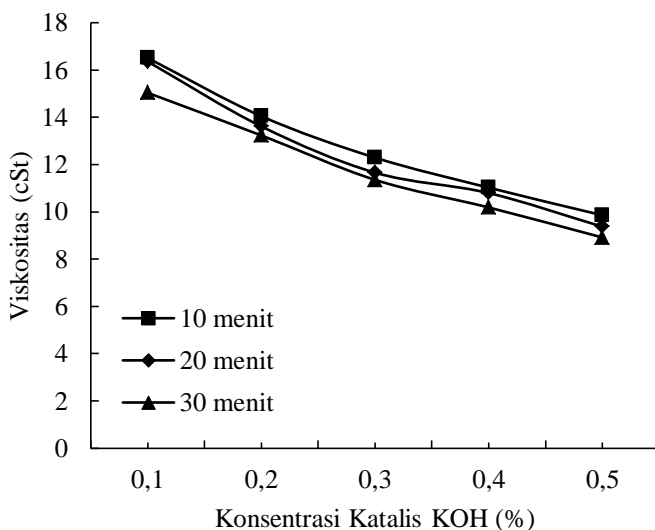
Gambar IV.25 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Densitas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada gambar IV.24 dan IV.25 menunjukkan bahwa densitas biodiesel menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis KOH. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap densitas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.24, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh densitas sebesar 0,8864 g/mL, waktu 20 menit diperoleh densitas sebesar 0,8767 g/mL, dan waktu 30 menit diperoleh densitas sebesar 0,8674 g/mL. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.25, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh densitas sebesar 0,8880 g/mL, waktu 20 menit diperoleh densitas sebesar 0,8778 g/mL, dan waktu 30 menit diperoleh densitas sebesar 0,8693 g/mL.

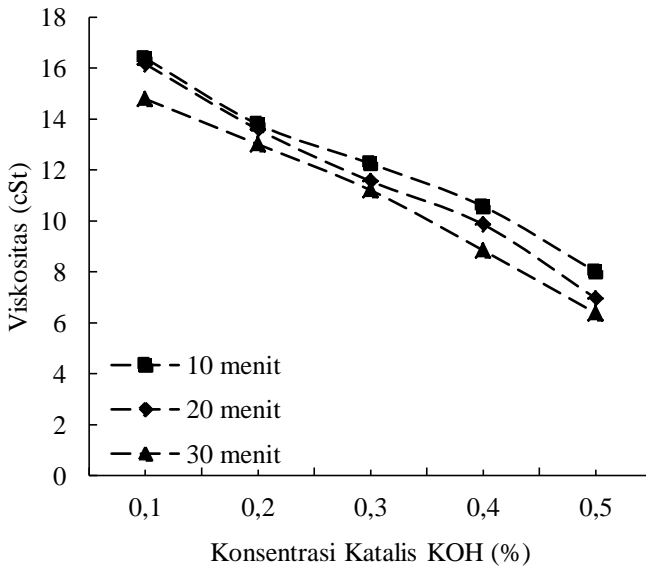
Densitas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 0,8674 g/mL dan pada ukuran 8 bagian yaitu 0,8693 g/mL dimana nilai ini sama seperti nilai densitas biodiesel yang berpengaruh terhadap waktu pemanasan dan sesuai dengan standard densitas pada SNI 7182:2015. Nilai ini didapatkan pada konsentrasi katalis 0,5% dengan variabel waktu 30 menit dan daya 600 W. Hal ini sesuai dengan pendapat Peterson (2001), yang menyatakan bahwa penggunaan katalis basa yang berlebih akan menyebabkan reaksi penyabunan. Hal ini memungkinkan adanya zat pengotor seperti sabun kalium dan gliserol hasil reaksi penyabunan, asam-asam lemak yang tidak terkonversi menjadi metil ester (biodiesel), air, kalium hidroksida sisa, kalium metoksida sisa ataupun sisa metanol yang menyebabkan massa jenis biodiesel menjadi lebih besar. Hingu *et al.*, (2010); Koh *et al.*, (2011); Wang *et al.*, (2012) menyatakan bahwa Jenis katalis dan konsentrasi yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan yang mengakibatkan nilai densitas biodiesel yang bervariasi dan batas maksimal penggunaan konsentrasi

KOH adalah $< 2\%$. Ramadhas et. all, (2005) juga menyatakan bahwa dalam proses transesterifikasi pembuatan biodiesel, akan dihasilkan metil ester dan gliserol. Apabila terjadi reaksi penyabunan dalam proses transesterifikasi mengakibatkan biodiesel yang terbentuk lebih susah dipisahkan dengan gliserol. Gliserol yang terikut dalam biodiesel mengakibatkan kerapatan dalam biodiesel menjadi lebih besar, sehingga terlihat lebih keruh. Oleh karena itu, dengan meningkatnya penggunaan H_2SO_4 akan mengurangi reaksi penyabunan yang mengurangi gliserol dalam biodiesel, sehingga berat jenisnya semakin rendah.

IV.2.5 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Produk Biodiesel



Gambar IV.26 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



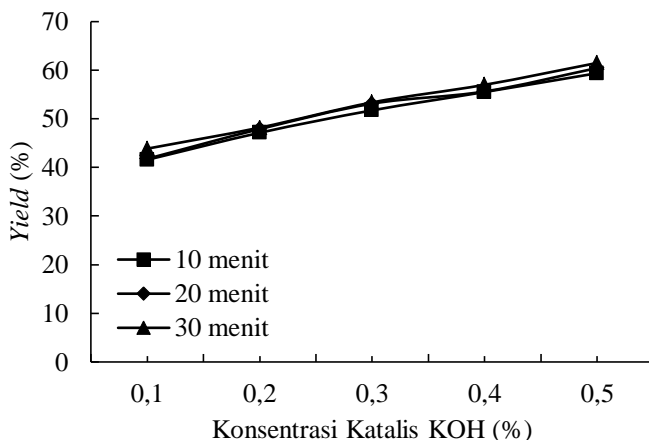
Gambar IV.27 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Pada Gambar IV.26 dan IV.27 menunjukkan bahwa viskositas biodiesel mengalami penurunan seiring dengan semakin meningkatnya konsentrasi katalis KOH yang digunakan. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap viskositas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.26, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh viskositas sebesar 9,8552 cSt, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar 9,3726 cSt, dan waktu 30 menit diperoleh viskositas sebesar 8,9154 cSt. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar

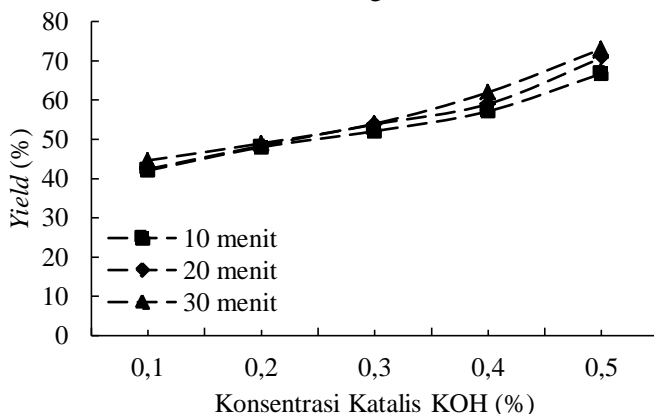
IV.27, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh viskositas sebesar 8,0010 cSt, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar 6,9596 cSt, dan waktu 30 menit diperoleh viskositas sebesar 6,3754 cSt.

Viskositas terendah didapatkan pada ukuran 4 bagian yaitu 8,9154 cSt dan pada ukuran 8 bagian yaitu 6,3754 cSt dimana nilai ini blum sesuai dengan nilai viskositas biodiesel dengan standard viskositas pada SNI 7182:2015. Ketidaksesuaian tersebut dikarenakan di dalam produk biodiesel masih terkandung gliserol dan sabun yang menyebabkan nilai viskositas dari penelitian ini masih di atas ketentuan SNI 7182:2015. Menurut (Ramadhas, *et. al.*, 2005; Ashwath, 2010) menyatakan bahwa katalis basa yang berlebih juga akan terikut pada lapisan organik, sehingga asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku akan bereaksi dengan katalis basa berlebih dan membentuk reaksi saponifikasi yang dapat menghambat pembentukan metil ester yang diharapkan. Sabun dari hasil transesterifikasi akan meningkatkan viskositas dari biodiesel dan mengganggu pemisahan gliserol dan juga turunnya yield metil ester. Canackiet *et al.*, (1999) dan Ramadhas *et al.*, (2005) menyebutkan bahwa minyak berkandungan asam lemak tinggi (> 2% FFA) tidak sesuai digunakan dalam reaksi transesterifikasi karena asam lemak dalam minyak akan bereaksi dengan katalis basa (reaksi penyabunan). Oleh karena itu, perlu dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam untuk menurunkan % FFA. Untuk nilai viskositas lainnya dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu dan daya memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas yang dihasilkan. Pentingnya nilai viskositas biodiesel ini karena dapat mempengaruhi kinerja dari mesin dan karakter emisinya. Semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk memompa dan menginjeksi bahan bakar (Tesfa *et al.*, 2010).

IV.2.6 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Yield Produk Biodiesel



Gambar IV.28 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Yield Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 4 Bagian



Gambar IV.29 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Yield Biodiesel dengan Daya Optimal 600 W untuk Masing-Masing Waktu Pemanasan yang Diperoleh pada Ukuran Bahan Baku 8 Bagian

Dari gambar IV.28 dan IV.29 dapat dilihat bahwa semakin banyak konsentrasi katalis dari KOH yang digunakan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai dari *yield* ini dikarenakan semakin banyak trigliserida dalam minyak biji nyamplung yang akan bereaksi dengan metanol dengan bantuan katalis yang akan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Daya 600 W dipilih karena merupakan daya terbaik dari ketiga variabel daya yang telah diujikan. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap viskositas biodiesel pada ukuran 4 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.28, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh *yield* sebesar 59,3611%, waktu 20 menit diperoleh *yield* sebesar 60,4276%, dan waktu 30 menit diperoleh *yield* sebesar 61,4776%. Sedangkan pada ukuran 8 bagian yang ditunjukkan oleh Gambar IV.29, diperoleh konsentrasi optimal katalis KOH yang sama untuk masing-masing waktu pemanasan yaitu 0,5% di mana waktu 10 menit diperoleh *yield* sebesar 66,7416%, waktu 20 menit diperoleh viskositas sebesar *yield* sebesar 70,7441%, dan waktu 30 menit diperoleh *yield* sebesar 73,0284%.

Dilihat dari pengaruh variabel konsentrasi katalis KOH terhadap *yield* biodiesel dapat diketahui bahwa *yield* tertinggi yang didapatkan untuk ukuran 4 bagian yaitu 61,4776% dan 8 bagian yaitu 73,0284%. Nilai ini didapatkan pada konsentrasi katalis 0,5% dengan variabel waktu 30 menit dan daya 600 W. Untuk nilai *yield* yang lain dapat dilihat pada tabel B.1.3.1 sampai dengan B.1.3.3. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa semakin besar konsentrasi katalis pada campuran maka semakin cepat reaksi itu berlangsung dan penambahan konsentrasi dari katalis memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan. Penggunaan katalis yang melebihi 2% berat akan mengakibatkan penurunan nilai *yield*. Selain itu, katalis basa yang berlebih juga akan terikut pada lapisan organik, sehingga asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan baku akan bereaksi dengan katalis basa berlebih dan membentuk reaksi saponifikasi yang dapat

menghambat pembentukan metil ester yang diharapkan. Sabun dari hasil transesterifikasi akan meningkatkan viskositas dari biodiesel dan mengganggu pemisahan gliserol dan juga turunnya yield metil ester (Ramadhas, dkk., 2005; Ashwath, 2010). Canackiet *et al.*, (1999) dan Ramadhas *et al.*, (2005) menyebutkan bahwa minyak berkandungan asam lemak tinggi (>2% FFA) tidak sesuai digunakan dalam reaksi transesterifikasi karena asam lemak dalam minyak akan bereaksi dengan katalis basa (reaksi penyabunan), oleh karena itu perlu dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam untuk menurunkan %FFA. Minyak biji nyamplung memiliki kandungan asam lemak cukup tinggi yaitu sebesar 30,823%. Oleh karena itu, meningkatnya penggunaan jumlah katalis H_2SO_4 akan mengurangi %FFA dan meningkatkan yield biodiesel yang terbentuk.

IV.3 Karakteristik Kualitas Produk Biodiesel dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*

Pada tabel IV.3 menunjukkan karakteristik kualitas sampel produk biodiesel dengan menggunakan katalis KOH pada proses *ex situ* dan *in situ*. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa hasil produk biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi kualitas SNI 7182:2015.

Tabel IV.3 Karakteristik Kualitas Biodiesel
Menggunakan Katalis KOH dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*

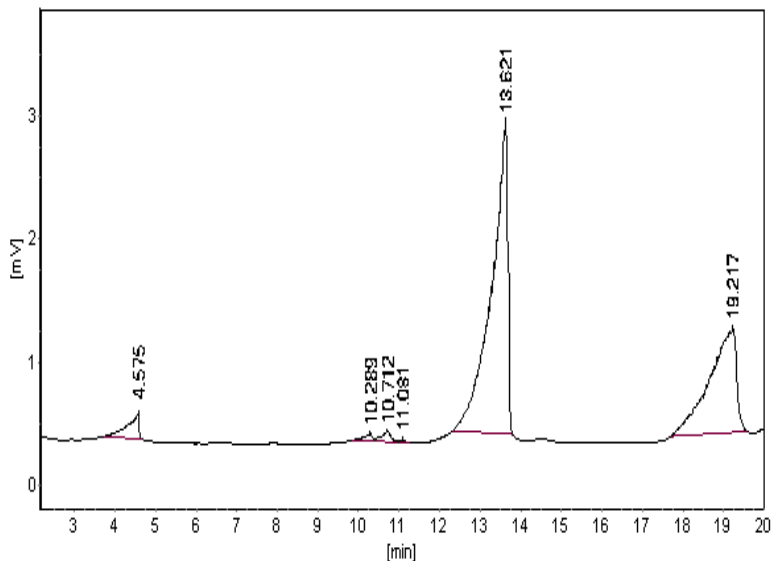
	Pengujian	SNI 7182:2015	4 bagian	8 bagian	Metode Uji
Hasil Pengujian Ukuran Bahan Proses <i>Ex Situ</i>	Densitas pada 40°C (g/cm ³)	0,850 – 0,890	0,8893	0,8897	ASTM D- 1298 : 8,60 – 8,90
	Viskositas Kinematik pada 40°C (cSt)	2,3 – 6,0	4,4704	4,2926	ASTM D445 : 1,9 – 6,0
Hasil Pengujian Ukuran Bahan Proses <i>In Situ</i>	Densitas pada 40°C (g/cm ³)	0,850 – 0,890	0,8674	0,8693	ASTM D- 1298 : 8,60 – 8,90
	Viskositas Kinematik pada 40°C (cSt)	2,3 – 6,0	8,9154	6,3754	ASTM D445 : 1,9 – 6,0

IV.4 Analisis *Gas Chromatography* (GC) pada Produk Biodiesel *Ex Situ* dan *In Situ*

Kadar metil ester dapat ditentukan dengan berbagai metode. Metode yang paling banyak digunakan adalah menggunakan analisis *Gas Chromatography* (GC). Pada penelitian ini dilakukan analisis *Gas Chromatography* (GC) untuk mengetahui komponen-komponen metil ester yang terdapat dalam minyak biji nyamplung dengan proses *ex situ* dan *in situ*.

IV.4.1 Hasil Kromatogram Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses *Ex Situ*

Analisis *Gas Chromatography* (GC) bertujuan untuk mengetahui komponen asam lemak yang terbentuk menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME).



Gambar IV.30 Hasil Analisis GC pada Katalis KOH 0,5% dengan Daya 600 W dan Waktu 30 Menit

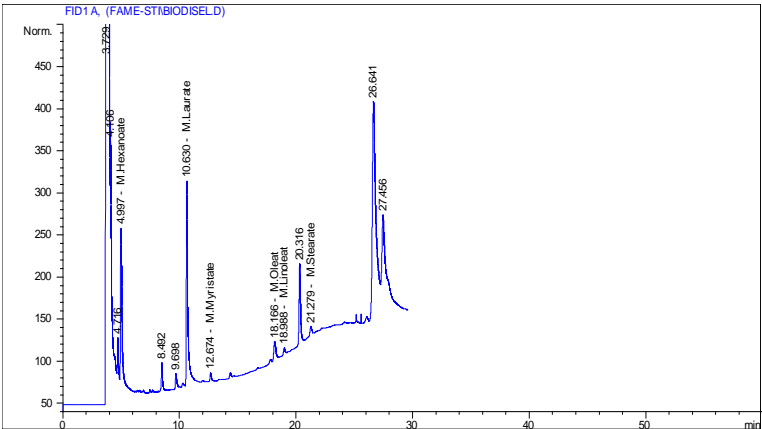
Tabel IV.4 Komposisi Analisis GC Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses *Ex Situ*

No	Compound Name	R.Time	Height	Area	Komposisi (%)	Type
1	N-Heksan	0,315	1170773	8633095	98,66994	BB
2	Metil Palmitate	4,575	205	4195	0,04795	BB
3	Metil Myristate	10,289	58	922	0,01053	BV
4	Metil Stearat	10,712	81	1364	0,0156	VV

5	Metil Arachidate	11,081	20	165	0,00189	VB
6	Metil Oleat	13,621	2541	70643	0,80739	BP
7	Metil Linoleat	19,217	842	39084	0,4467	PB
TOTAL		1174520	8749468	100		

IV.4.2 Hasil Kromatogam Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses *In Situ*

Analisis Gas Chromatography (GC) bertujuan untuk mengetahui komponen asam lemak yang terbentuk menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME).



Gambar IV.31 Hasil Analisis GC pada Katalis KOH 0,5% dengan Daya 600 W dan Waktu 30 Menit

Tabel IV.5 Komposisi Analisis GC Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses *In Situ*

No	Compound Name	R.Time	Komposisi (%)	Type
1	Metil Hexanoate	4,997	0,5535	VB
2	Metil Octanoate	6,381	-	
3	Metil Nonanoate	7,699	-	

4	Metil Laurate	10,630	0,3767	PB
5	Metil Myristate	12,674	0,0225	BB
6	Metil Palmitate	15,392	-	
7	Metil Oleat	18,166	0,0426	PB
8	Metil Linoleat	18,988	0	PP
9	Metil Stearate	21,279	-	PB
10	Metil Arachidate	24,717	-	

Berdasarkan hasil analisis GC diatas, diketahui bahwa komposisi minyak biji nyamplung yang terkonversi menjadi metil ester didominasi oleh Metil Linoleat sebesar 0,4467% dan Metil Oleat sebesar 0,80739%. Hasil yang diperoleh ini sesuai dengan komposisi asam lemak minyak biji nyamplung yang menyebutkan bahwa asam lemak yang dominan dalam minyak biji nyamplung tersebut adalah Asam Linoleat yaitu sebesar 26,33% dan Asam Oleat yaitu sebesar 37,57%. Dengan diketahuinya komponen metil ester pada sampel yang telah diujikan dengan GC maka proses pembuatan biodiesel dari biji nyamplung dengan menggunakan bantuan gelombang micro (*microwave*) pada proses *ex situ* dapat dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 pokok bahasan, yaitu :

➤ **Ex Situ**

1. Biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) dapat diekstrak menggunakan metode *Microwave-assisted Extraction* dengan pelarut *N-heksana*.
2. Dengan menggunakan pelarut *n-heksana* diperoleh kesimpulan :
 - Semakin besar daya *microwave* yang digunakan, semakin besar *yield* yang diperoleh dengan *yield* ekstraksi terbesar pada 600 watt.
 - Semakin lama waktu ekstraksi yang digunakan, semakin besar *yield* yang diperoleh dengan *yield* ekstraksi terbesar pada waktu ekstraksi 30 menit.
 - Penggunaan pelarut *N-heksana* dapat meningkatkan *yield* dengan range peningkatan tertinggi sebesar 2,8492%.
3. Massa minyak biji nyamplung yang diperoleh dengan menggunakan metode *Soxhletasi* adalah sebesar 5,6794 gram, sehingga nilai akumulasi *recovery* tertinggi untuk ekstraksi biji nyamplung dengan pelarut *N-heksana* adalah sebesar 84,9685%.
4. Biji Nyamplung dapat digunakan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel menggunakan metode radiasi *microwave* dengan katalis KOH dimana konsentrasi katalisnya 0,5% serta kondisi operasinya pada waktu reaksi 30 menit dan daya 600 Watt.
5. Konsentrasi katalis KOH memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada konsentrasi 0,5%. Semakin tinggi

konsentrasi katalis yang digunakan, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Katalis KOH 0,5% dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8893 gr/ml, viskositas 4,2926 cSt, dan *yield* 81,2227%.

6. Daya memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada daya 600 watt. Semakin tinggi daya *microwave* yang digunakan, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Daya 600 watt dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8893 gr/ml, viskositas 4,2926 cSt, dan *yield* 81,2227%.
7. Waktu pemanasan memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada waktu 30 menit. Semakin lama waktu pemanasan pada *microwave*, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Waktu pemanasan 30 menit dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8893 gr/ml, viskositas 4,2926 cSt, dan *yield* 81,2227%.

➤ ***In Situ***

1. Biji Nyamplung dapat digunakan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi *In Situ* menggunakan metode radiasi *microwave* dengan katalis KOH dimana konsentrasi katalisnya 0,5% serta kondisi operasinya pada waktu reaksi 30 menit dan daya 600 Watt.
2. Konsentrasi katalis KOH memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada konsentrasi 0,5%. Semakin tinggi konsentrasi katalis yang digunakan, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Katalis KOH 0,5%

- dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8693 gr/ml, viskositas 6,3754 cSt, dan *yield* 73,0284%.
3. Daya memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada daya 600 watt. Semakin tinggi daya *microwave* yang digunakan, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Daya 600 watt dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8693 gr/ml, viskositas 6,3754 cSt, dan *yield* 73,0284%.
 4. Waktu pemanasan memberikan pengaruh terhadap nilai densitas, viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada waktu 30 menit. Semakin lama waktu pemanasan pada *microwave*, densitas dan viskositas produk yang dihasilkan semakin rendah, tetapi *yield* yang dihasilkan semakin tinggi. Waktu pemanasan 30 menit dapat menghasilkan *methyl ester* dengan densitas 0,8693 gr/ml, viskositas 6,3754 cSt, dan *yield* 73,0284%.

V.2 Saran

1. Penelitian mengenai kondisi operasi optimal yang dapat mencapai *yield* > 90% dengan menggunakan katalis KOH.
2. Penelitian lebih lanjut tentang pembuatan biodiesel dari biji nyamplung menggunakan katalis NaOH dengan konsentrasi, dan daya yang lebih besar serta waktu yang lebih singkat.
3. Melakukan penelitian dalam jumlah skala yang lebih besar terhadap pembuatan biodiesel dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) sehingga sampai pada tahap komersialisasi produk yang dapat membantu pemerintah dalam upaya mencapai ketahanan energi nasional serta membantu pemanfaatan sumber daya yang bersumber dari kekayaan bahari.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Akanksha V Kanitkar. 2010. *Parameterization of Microwave Assisted Oil Extraction and Its Transesterification to Biodiesel*. B.Tech., University Department of Chemical Technology, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College: p. 13
- Aliefa, N. dan Yunianta. 2015. *Ekstraksi Antosianin dari Buah Murbei (Morus Alba. L) Metode Microwave Assisted Extraction (Kajian Waktu Ekstraksi dan Rasio Bahan: Pelarut)*. Jurnal Pangan dan Agroindustri 3 (3): 835-846
- Ashwath, N. (2010) *Evaluating Biodiesel Potential of Australian Native And Naturalised Plant Species*, RIRDC Publication No. 10/216, ISBN 978-1-74254-181-5
- A. Talebian-Kiakalaieh, N. A. S. Amin, A. Zarei, H. Jaliliannosrati. 2013. *Biodiesel Production from High Free Fatty Acid Waste Cooking Oil by Solid Acid Catalyst*. Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA): hal 572-276,
- Atabani, A.E., Silitonga A.S., Irfan Anjum Badruddin, Mahlia T.M.I., Masjuki H.H., dan Mekhilef S. 2012. "A Comprehensive Review on Biodiesel as An Alternative Energy Resource and Its Characteristic". Malaysia: University of Malaysia
- Baby, C., 1997, "Microwave Isomerization of Safrol and Eugenol", *Synthetic Commun*, 27: 4335-4340
- Bourne, Malcolm C. 2002. *Food Texture and Viscosity (Concept and Measurement)*, 2nd edition. Elsevier Science & Technology Books: p.340
- Canakci, M., and Van Gerpen JH., (1999), *Biodiesel Production Via Acid Catalysis*. *Trans. of ASAE*, 42 (5), pp. 1203-10
- Evangelista, Joao P.C., Thiago Chellapa, Ana C.F. Coriolano, Valter J. Fernandes Jr., Luiz D. Souza, dan Antonio S. Araujo. 2012. "Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from

- Rice Bran Oil*". Brazil: Federal University of Rio Grande do Norte
- Freedman, B., Butterfield R.O., dan Pryde E.H. 1986. *"Transesterification Kinetics of Soybean Oil"*. Amerika: J. Am. Oil Chem. Society
- Gryglewicz, S. 1999. *"Rapeseed Oil Methyl Esters Preparation using Heterogeneous Catalysts"*. Poland: Institute of Chemistry and Technology of Petroleum and Coal
- Gude, Veera Gnaneswar, Prafulla Patil, Edith Martinez-Guerra, Shuguang Deng, dan Nagamany Nirmalakhandan. 2013. *"Microwave Energy Potential for Biodiesel Production"*. Amerika: Sustainable Chemical Processes
- Hikmah, Maharani Nurul dan Zuliyana. 2010. *"Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi"*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Hui, Y.H. 1996. *"Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Industrial and Consumer Non Edible Products from Oils and Fats"*. New York: John Wiley & Sons
- Joelianingsih, Armansyah H. Tambunan, Hiroshi Nabetani, Yasuyuki Sagara, dan Kamaruddin Abdullah. 2006. *"Perkembangan Proses Pembuatan Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN)"*. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Ketaren, S. 1986 *"Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan"*. Jakarta: UI-Press
- Lertsathapornsuk, V., R. Pairintra, K. Krisnangkura, dan S. Chindaruksa. 2005. *"Direct Conversion of Used Vegetable Oil to Biodiesel and Its Use as an Alternative Fuel for Compression Ignition Engine"*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonbur
- Li, Penglin. 2011. *In Situ Biodiesel Production from Fast-Growing and High Oil Content Chlorella pyrenoidosa in Rice Straw Hydrolysate*. Journal of Biomedicine and Biotechnology, hal. 1-8

- Mahajan, Amita, A.S. Ahluwalia, dan Pururava Mahajan. 2011. *"Properties of Biodiesel Produced from Various Oilseeds"*. India: Rayat and Bahra Institute of Engg. And Biotechnology
- Ong, H.C., A.S. Silitonga, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, W.T. Chong dan M.H. Boosroh. 2013 *"Production and Comparative Fuel Properties of Biodiesel From NonEdible Oils : Jatropha curcas, Sterculia foetida and Ceiba pentandra"*. Kuala Lumpur: University of Malaya
- Perry, Robert H. 2008. *"Perry's Chemical Engineers' Handbook"*. New York: Mc Graw-Hill
- Quitain, T.A., Hrioyuki D., Katoh, S., dan Moriyoshi, T. 2011. *"Microwave-Assisted Hydrothermal Degradation of Silk Protein to Amino Acids"*. Japan: Kumamoto University
- Schuchardt, Ulf, Ricardo Sercheli, dan Rogerio Matheus Vargas. 1998. *"Transesterification of Vegetable Oils: a Review"*. Brazil: Universidade federal da Bahia
- Serio, Martino Di, Riccardo Tesser, Lu Pengmei, dan Elio Santacesaria. 2008. *"Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production"*. Napoli: Universita di Napoli
- Shiu PJ, Gunawan S, Hsieh W, Kasim NS, Ju YH. 2010. *Biodiesel Production from Rice Bran by Two-Step In situ Process*. Bioresource Technology 101: 984-989
- Silva, Nivea De Lima Da, Cesar Batistella, Rubens Maciel Filho, dan Maria Regina Wolf Maciel. 2011. *"Determination of Castor Oil Molecular Weight by Vapour Pressure Osmometry Technique"*. Brazil: University of Campinas
- Sivasamy, Arumugam, Kien Yoo Cheah, Paolo Fornasiero, Francis Kemausuor, Sergey Zinoviev, dan Stanislav Miertus. 2009. *"Catalytic Applications in the Production of Biodiesel from Vegetable Oils"*. Weinheim: WilleyVCH Verlag GmbH & Co
- Soerawidjaja, T., 2005. *Mendorong Upaya Pemanfaatan dan Sosialisasi Biodiesel Secara Nasional*. Jakarta: LP3E KADIN Indonesia
- SNI. 2015. *"SNI 7182:2015 Biodiesel"*. Jakarta: BSN

- Tesfa, B., Mishra R., Gu F., dan Powles N. 2010. *“Prediction Models for Density and Viscosity of Biodiesel and Their Effects on Fuel Supply System in CI Engines”*. Queensgate: University of Huddersfield
- Widodo, T.W. dan Elita R. 2011. *“Current Status of Bioenergy Development in Indonesia”*. Serpong: Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD)
- Wiratakusumah, A, Subarna, M Arpah, Dahrul S., dan Siti I.B.. 1992. *Peralatan dan Unit Proses Industri Pangan*
- Qian J, Wang F, Liu S, Yun Z. 2008. *In Situ Alkaline Transesterification of Cottonseed Oil for Production of Biodiesel and Nontoxic Cottonseed Meal*. Bioresour Technol. 99:9009-9012
- Veljkovic, B. Vlada, et al. 2011. *Biodiesel Production by Ultrasound-Assisted Transesterification: State of the Art and the Perspectives*. Serbia: Scencedirect,

APPENDIKS A CARA PERHITUNGAN

A.1 Cara Perhitungan Tahap Pembuatan Biodiesel dengan Proses *Ex Situ*

A.1.1 Ekstraksi

A.1.1.1 Perhitungan Densitas Minyak Biji Nyamplung

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{m_2 - m_1}{v \text{ larutan sampel}}$$

di mana : m_1 = massa kosong pikno (gram)
 m_2 = massa pikno + sampel (gram)
 v larutan sampel = 5 mL

Contoh perhitungan densitas pada variabel daya 600 watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian sebelum degumming, diperoleh :

Massa piknometer kosong = 8,7245 gram

Massa piknometer + biodiesel = 13,5572 gram

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{13,5572 - 8,7245}{5} = 0,9665 \text{ g/mL}$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.1.1.1 s.d. B.1.1.6

A.1.1.2 Perhitungan Viskositas Minyak Biji Nyamplung

Perhitungan viskositas :

$$\text{Viskositas} = K \times t$$

(Malcolm C. Bourne, 2002)

Dimana : K = faktor pengali dari viskometer yang digunakan (Viscometer Cannon

Fenske) yaitu 2,54 cSt/sekon

t = waktu yang dibutuhkan sample dari titik a sampai b (detik)

Contoh perhitungan viskositas pada variabel daya 600 watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian sebelum degumming, diperoleh :

Waktu (t) = 22,69 sekon

Viskositas = 2,54 cSt/sekon x 22,69 sekon

= 57,6326 Cst

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendix B pada tabel B.1.1.1 s.d. B.1.1.6

A.1.1.3 Perhitungan *Yield* Minyak Biji Nyamplung

Perhitungan *yield* menggunakan pendekatan penurunan viskositas dari minyak biji nyamplung sebelum dan setelah degumming. Kadar minyak didapat dari :

$$\ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}} = x_1 \ln \eta_1 + x_2 \ln \eta_2$$

dimana $x_1 + x_2 = 1$, sehingga :

$$\ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}} = (1 - x_2) \ln \eta_1 + x_2 \ln \eta_2$$

$$\ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}} = \ln \eta_1 - x_2 \ln \eta_1 + x_2 \ln \eta_2$$

$$\ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}} = \ln \eta_1 - x_2(\ln \eta_1 + \ln \eta_2)$$

$$x_2(\ln \eta_1 + \ln \eta_2) = \ln \eta_1 - \ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}}$$

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \eta_{M. \text{ Nyamplung}}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2}$$

(Tesfa et al, 2010)

η_1 = viskositas minyak biji nyamplung awal (sebelum degumming)

$\eta_{m. \text{ nyamplung}}$ = viskositas minyak biji nyamplung akhir (setelah degumming)

η_2 = viskositas minyak biji nyamplung standar yaitu 53,4 cSt

(*The Forestry Research and Development Agency*, 2008)

x_2 = kadar minyak dalam minyak biji nyamplung

Persamaan yang di gunakan adalah :

$$Yield = \frac{\text{massa minyak}}{\text{massa bahan baku}} \times 100\%$$

Yield

$$= \frac{\text{massa minyak yang diperoleh} \times \text{kadar minyak pada sampel}}{\text{massa biji nyamplung kering yang digunakan}}$$

Contoh perhitungan *yield* minyak biji nyamplung pada variabel daya 600 Watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian yaitu

$$\eta_1 = 57,6326 \text{ Cst}$$

$$\eta_2 = 53,4 \text{ Cst}$$

$$\eta_{M.Ny} = 55,2196 \text{ Cst}$$

maka :

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \eta_{M.Nyamplung}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2}$$

$$x_2 = \frac{\ln(57,6326) - \ln(55,2196)}{\ln(57,6326) - \ln(53,4)}$$

$$x_2 = 0,5607$$

$$Yield = \frac{4,8218 \times 0,5607}{100} \times 100\%$$

$$Yield = 2,7037\%$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.1.1.2 s.d. B.1.1.6

A.1.1.4 Perhitungan Persen *Recovery* Minyak Biji Nyamplung

$$Recovery = \frac{\text{minyak biji nyamplung hasil percobaan}}{\text{total minyak dalam biji nyamplung}} \times 100\%$$

di mana total minyak dalam biji nyamplung diperoleh sebesar 53,9417% berat kering.

Contoh perhitungan persen *recovery* pada variabel daya 600 watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian untuk persiapan transesterifikasi katalis KOH 0,1%, diperoleh minyak biji nyamplung dari hasil percobaan yaitu sebesar 2,8492%

$$\% \text{ Recovery} = \frac{2,8492}{53,9417} \times 100\% = 5,2821 \%$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.1.1.2 s.d. B.1.1.6

A.1.2 Perhitungan Berat Molekul Minyak Biji Nyamplung

Basis massa minyak yang digunakan untuk menentukan berat molekul minyak biji nyamplung diambil dari nilai rata-rata hasil percobaan untuk semua jenis variabel yaitu 4,8231367 gram

Table A.1.2.1 Perhitungan Berat Molekul Minyak Biji Nyamplung

Asam Lemak Jenuh	BM (g/mol)	Komposisi (%)	Massa Komponen (gram)	Mol Komponen (mol)
Asam Myristate	225	0,09	0,0043408	$1,9293 \times 10^{-5}$
Asam Palmitate	256	14,6	0,704178	0,0027507
Asam Stearat	284	19,96	0,9626981	0,00338978
Asam Arachidate	312	0,94	0,0453375	0,00014531
Asam Erukate	338	0,24	0,0115755	$3,4247 \times 10^{-5}$
Total		35,83	1,7281299	0,00633933

Asam Lemak Tidak Jenuh	BM (g/mol)	Komposisi (%)	Massa Komponen (gram)	Mol Komponen (mol)
Asam Oleat	282	37,57	1,8120524	0,00642572
Asam Linoleat	280	26,33	1,2699319	0,00453547
Asam Linolenat	278	0,27	0,0130225	4,6843x10 ⁻⁵
Total		64,17	3,0950068	0,01100803

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Total massa asam lemak} &= \text{Massa asam lemak jenuh} + \text{Massa asam lemak tidak jenuh} \\
 &= 1,7281299 + 3,0950068 \\
 &= 4,8231367 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Total mol asam lemak} &= \text{Mol asam lemak jenuh} + \text{Mol asam lemak tidak jenuh} \\
 &= 0,0063393 + 0,0110080 \\
 &= 0,0173473 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ BM campuran asam lemak} &= \frac{\text{Total massa asam lemak}}{\text{Total mol asam lemak}} \\
 &= \frac{4,8231367 \text{ gram}}{0,0173473 \text{ mol}} \\
 &= 278,032867 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Sehingga BM Minyak Biji Nyamplung} &= \\
 &= (3 \times \text{BM}_{\text{campuran asam lemak}}) + \text{BM Gliserol} - (3 \times \text{BM}_{\text{air}}) \\
 &= (3 \times 278,032867 \text{ g/mol}) + 92,09382 \text{ g/mol} - \\
 &\quad (3 \times 18,01528 \text{ g/mol}) \\
 &= 872,1456 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

(Silva et. all, 2011)

A.1.3 Degumming

Konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) yang tersedia di laboratorium memiliki kepekatan 85%. Dalam proses degumming konsentrasi asam fosfat yang dibutuhkan adalah 20% dengan kebutuhan 0,3% berat (Atabani et. all, 2011). Oleh karena itu,

konsentrasi asam phosphat harus diencerkan terlebih dahulu yaitu:

- Konsentrasi larutan H_3PO_4 85%,
 Berat jenis = 1,885 g/mL
 Berat Molekul = 97,99 g/mol

$$M_1 = \frac{10 \times \% \times \text{berat jenis}}{\text{BM}}$$

$$M_1 = \frac{10 \times 85 \times 1,885}{97,99}$$

$$M_1 = 16,3512 \text{ M}$$

- Konsentrasi larutan H_3PO_4 20%

$$M_2 = \frac{10 \times \% \times \text{berat jenis}}{\text{BM}}$$

$$M_2 = \frac{10 \times 20 \times 1,885}{97,99}$$

$$M_2 = 3,8473 \text{ M}$$

Maka Perhitungan pembuatan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 20% sebanyak 100 mL adalah dengan menggunakan rumus pengenceran molaritas :

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$16,3512(V_1) = (3,8473)100$$

$$V_1 = 23,5 \text{ mL}$$

Sehingga cara pembuatan asam phosphat (H_3PO_4) 3,8473 M sebanyak 100 mL adalah :

- Isi labu takar ukuran 100 mL dengan asam phosphat 23,5 mL secara perlahan.
- Tambahkan aquades sampai 100 mL atau sampai tanda batas pada labu takar.

Jadi untuk menghitung kebutuhan asam phosphat 0,3% berat pada volume sampel 5 mL yaitu :

$$\text{kebutuhan asam phosphat} = \frac{0,3}{100} \times 5 \text{ mL} = 0,015 \text{ mL}$$

A.1.4 Esterifikasi

A.1.4.1 Perhitungan %FFA Minyak Biji Nyamplung

$$\% \text{FFA} = \frac{V \text{ KOH} \times M \text{ KOH} \times \text{BM asam lemak}}{m. \text{ sample} \times 1000} \times 100\%$$

dimana :

V KOH = Volume KOH yang dibutuhkan untuk titrasi (mL)

M KOH = Molaritas KOH (0,1 N)

BM asam lemak = Berat Molekul asam lemak (278,0329g/mol)

m sampel = massa sampel (gram)

Contoh perhitungan % FFA pada minyak biji nyamplung:

➤ Kebutuhan KOH 0,1 N dalam 50 mL, yaitu :

$$M = \frac{n}{V}$$

$$M = \frac{\text{gr/BM}}{V}$$

$$0,1 \text{ mol/mL} = \frac{\text{m KOH}}{\frac{56 \text{ gr/mol}}{0,5 \text{ mL}}}$$

$$0,05 \text{ mol} = \frac{\text{m KOH}}{56 \text{ gr/mol}}$$

$$\text{m KOH} = 2,8 \text{ gram}$$

maka untuk membuat larutan KOH 0,1 N; timbang KOH sebanyak 2,8 gram dan larutkan ke dalam labu ukur 50 mL dengan aquadest.

Diketahui :

Molaritas KOH = 0,1 M

BM asam lemak = 278,0329 g/mol

Volume KOH untuk titrasi = 10,7 mL

massa sampel = 0,9644 gram (ukuran bahan 8 bagian setelah degumming)

$$\begin{aligned} \% \text{FFA} &= \frac{10,7 \text{ mL} \times 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{mL}} \times 278,0329 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}{0,9644 \text{ gr} \times 1000} \times 100\% \\ &= 30,8490\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk mengetahui nilai %FFA < 2% dengan proses esterifikasi, dapat dilihat dalam Appendix B pada tabel B.1.2.1

A.1.4.2 Perhitungan Kebutuhan Katalis H₂SO₄

$$\text{Kebutuhan H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{volume M Ny} \times \% \text{ katalis}}{100}$$

Contoh perhitungan kebutuhan katalis H₂SO₄ 13% (v/v) dengan variabel tetap yaitu daya 150 watt dan waktu pemanasan selama 60 menit

Diketahui :

$$V \text{ minyak nyamplung} = 5 \text{ mL}$$

maka, Kebutuhan H₂SO₄ :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan H}_2\text{SO}_4 &= \frac{5 \text{ mL} \times 13}{100} \\ &= 0,65 \text{ mL}\end{aligned}$$

A.1.4.3 Perhitungan Kebutuhan Metanol

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan metanol} \\ &= \frac{\text{volume M Ny} \times \rho \text{ M Ny} \times \text{ratio metanol} \times \text{BM metanol}}{\text{BM M Ny} \times \rho \text{ metanol}}\end{aligned}$$

Kebutuhan metanol :

Contoh perhitungan kebutuhan metanol dengan ratio 1:40 untuk pengenceran katalis H₂SO₄ menggunakan variabel tetap yaitu daya 150 watt dan waktu pemanasan selama 60 menit

Diketahui :

$$V \text{ minyak nyamplung} = 5 \text{ mL}$$

$$\rho \text{ minyak nyamplung} = 0,9644 \text{ g/mL}$$

$$\text{BM minyak nyamplung} = 872,1466 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM metanol} = 32,04 \text{ g/mol}$$

$$\rho \text{ metanol} = 0,791 \text{ g/mL}$$

maka, kebutuhan metanol:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan metanol} \\ &= \frac{5 \text{ mL} \times 0,9644 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 40 \times 32,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{872,1466 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,791 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} \\ &= 8,96 \text{ mL}\end{aligned}$$

A.1.5 Transesterifikasi

A.1.5.1 Perhitungan Kebutuhan Katalis KOH

$$\text{Kebutuhan KOH} = \frac{\text{volume M Ny} \times \rho \text{ M Ny} \times \% \text{ katalis}}{100}$$

Contoh perhitungan kebutuhan katalis KOH 0,5% dengan variabel daya 600 watt dan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian
Diketahui :

$$V \text{ minyak nyamplung} = 5 \text{ mL}$$

$$\rho \text{ minyak nyamplung} = 0,9644 \text{ g/mL}$$

maka, Kebutuhan KOH :

$$\text{Kebutuhan KOH} = \frac{5 \text{ ml} \times 0,9644 \text{ g/mL} \times 0,5}{100}$$

$$= 0,0241 \text{ gram}$$

A.1.5.2 Perhitungan Kebutuhan Metanol

$$\text{Kebutuhan metanol} = \frac{\text{volume MNy} \times \rho \text{ MNy} \times \text{ratio metanol} \times \text{BM metanol}}{\text{BM MNy} \times \rho \text{ metanol}}$$

Kebutuhan metanol :

Contoh perhitungan kebutuhan metanol dengan ratio 1:9 pada variabel daya 600 watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit untuk ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian dan konsentrasi katalis 0,5%
Diketahui :

$$V \text{ minyak nyamplung} = 5 \text{ mL}$$

$$\rho \text{ minyak nyamplung} = 0,9644 \text{ g/mL}$$

$$\text{BM minyak nyamplung} = 872,1466 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM metanol} = 32,04 \text{ g/mol}$$

$$\rho \text{ metanol} = 0,791 \text{ g/mL}$$

maka, kebutuhan metanol:

Kebutuhan metanol

$$\begin{aligned} &= \frac{5 \text{ mL} \times 0,9644 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 9 \times 32,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{872,1466 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,791 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} \\ &= 2,02 \text{ mL} \end{aligned}$$

A.1.5.3 Perhitungan Densitas Produk Biodiesel

Perhitungan densitas :

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{m_2 - m_1}{v \text{ larutan sampel}}$$

Dimana: m_1 = massa kosong pikno (gram)

m_2 = massa pikno + sampel (gram)

v larutan sampel = 5 mL

Contoh perhitungan densitas pada variabel daya 600 Watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

Massa piknometer kosong = 8,7245 gram

Massa piknometer + biodiesel = 13,1729 gram

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{13,1729 - 8,7245}{5} = 0,8897 \text{ g/mL}$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendix B pada tabel B.1.3.1 s.d. B.1.3.3

A.1.5.4 Perhitungan Viskositas Produk Biodiesel

Perhitungan viskositas :

Viskositas = $K \times t$

(Malcolm C. Bourne, 2002)

Dimana : K = faktor pengali dari viskometer yang digunakan (Viscometer Cannon Fenske)
yaitu 2,54 cSt/sekon

t = waktu yang dibutuhkan sample dari titik a sampai b (detik)

Contoh perhitungan viskositas pada variabel daya 600 Watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

Waktu (t) = 1,69 sekon

Viskositas = 2,54 cSt/sekon x 1,69 sekon

= 4,2926 Cst

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.1.3.1 s.d. B.1.3.3

A.1.3 Perhitungan *Yield* Produk Biodiesel

Perhitungan *yield* menggunakan pendekatan penurunan viskositas dari minyak biji nyamplung menjadi biodiesel. Kadar biodiesel didapat dari :

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \eta_{\text{biodiesel}}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2}$$

(Tesfa et al, 2010)

η_1 = Viskositas minyak biji nyamplung setelah degumming

$\eta_{\text{biodiesel}}$ = Viskositas produk biodiesel

η_2 = Viskositas biodiesel standar dari *blending* B80 (80% biodiesel dan 20% solar)) yaitu 3,70 cSt (H. Raheman, S.V. Ghadge / Fuel 86, 2007)

x_2 = kadar biodiesel dalam produk (hasil transesterifikasi)

Persamaan yang di gunakan adalah :

$$Yield = \frac{\text{massa FAME}}{\text{massa minyak biji nyamplung}} \times 100\%$$

$$Yield = \frac{\text{massa produk biodiesel} \times \text{kadar biodiesel}}{\text{massa minyak biji nyamplung}}$$

Contoh perhitungan *yield* pada variabel daya 600 watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan

selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

$$\eta_1 = 57,6326 \text{ Cst}$$

$$\eta_2 = 3,70 \text{ Cst}$$

$$\eta_{\text{biodiesel}} = 55,2196 \text{ Cst}$$

maka :

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \text{biodiesel}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2}$$

$$x_2 = \frac{\ln(57,6326) - \ln(55,2196)}{\ln(57,6326) - \ln(53,4)}$$

$$x_2 = 0,5607$$

$$\text{Yield} = \frac{4,8218 \times 0,5607}{100} \times 100\%$$

$$\text{Yield} = 2,7037\%$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.1.3.1 s.d. B.1.3.3

A.2 Cara Perhitungan Tahap Pembuatan Biodiesel dengan Proses *In Situ*

A.2.1 Perhitungan Kebutuhan Katalis KOH

$$\text{Kebutuhan KOH} = \frac{\text{volume M Ny} \times \rho \text{ M Ny} \times \% \text{ katalis}}{100}$$

Contoh perhitungan kebutuhan katalis KOH 0,5% dengan variabel daya 600 watt dan waktu ekstraksi selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian
Diketahui :

$$V \text{ minyak nyamplung} = 5 \text{ mL}$$

$$\rho \text{ minyak nyamplung} = 0,9698 \text{ g/mL}$$

maka, Kebutuhan KOH :

$$\text{Kebutuhan KOH} = \frac{5 \text{ ml} \times 0,9698 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 0,5}{100}$$

$$= 0,0242 \text{ gram}$$

A.2.2 Perhitungan Kebutuhan Metanol

Kebutuhan metanol

$$= \frac{\text{volume MNy} \times \rho \text{ MNy} \times \text{ratio metanol} \times \text{BM metanol}}{\text{BM MNy} \times \rho \text{ metanol}}$$

Kebutuhan metanol :

Contoh perhitungan kebutuhan metanol dengan ratio 1:9 pada variabel daya 600 watt dengan waktu ekstraksi selama 30 menit untuk ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian dan konsentrasi katalis 0,5%

Diketahui :

V minyak nyamplung	= 5 mL
ρ minyak nyamplung	= 0,9698 g/mL
BM minyak nyamplung	= 872,1466 g/mol
BM metanol	= 32,04 g/mol
ρ metanol	= 0,791 g/mL

maka, kebutuhan metanol:

Kebutuhan metanol

$$= \frac{5 \text{ mL} \times 0,9698 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 9 \times 32,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{872,1466 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,791 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}$$
$$= 2,02 \text{ mL}$$

A.2.3 Perhitungan Densitas Produk Biodiesel

Perhitungan densitas :

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{m_2 - m_1}{v \text{ larutan sampel}}$$

Dimana: m_1 = massa kosong pikno (gram)

m_2 = massa pikno + sampel (gram)

v larutan sampel = 5 mL

Contoh perhitungan densitas pada variabel daya 600 Watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

Massa piknometer kosong = 8,7245 gram

Massa piknometer + biodiesel = 13,071 gram

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{13,071 - 8,7245}{5} = 0,8693 \text{ g/mL}$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendix B pada tabel B.2.1 s.d. B.2.3

A.2.4 Perhitungan Viskositas Produk Biodiesel

Perhitungan viskositas :

Viskositas = $K \times t$

(Malcolm C. Bourne, 2002)

Dimana : K = faktor pengali dari viskometer yang digunakan (Viscometer Cannon Fenske) yaitu 2,54 cSt/sekon

t = waktu yang dibutuhkan sample dari titik a sampai b (detik)

Contoh perhitungan viskositas pada variabel daya 600 Watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

Waktu (t) = 2,51 sekon

Viskositas = 2,54 cSt/sekon x 2,51 sekon

= 6,3754 cSt

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendix B pada tabel B.2.1 s.d. B.2.3

A.2.3 Perhitungan Yield Produk Biodiesel

Perhitungan *yield* menggunakan pendekatan penurunan viskositas dari minyak biji nyamplung menjadi biodiesel.

Kadar biodiesel didapat dari :

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \eta_{\text{biodiesel}}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2} \quad (\text{Tesfa et al, 2010})$$

η_1 = Viskositas minyak biji nyamplung setelah degumming

$\eta_{\text{biodiesel}}$ = Viskositas produk biodiesel

η_2 = Viskositas biodiesel standar dari *blending* B80 (80% biodiesel dan 20% solar)) yaitu 3,70 cSt (H. Raheman, S.V. Ghadge / Fuel 86, 2007)

x_2 = kadar biodiesel dalam produk (hasil transesterifikasi)

Persamaan yang di gunakan adalah :

$$Yield = \frac{\text{massa FAME}}{\text{massa minyak biji nyamplung}} \times 100\%$$

$$Yield = \frac{\text{massa produk biodiesel} \times \text{kadar biodiesel}}{\text{massa minyak biji nyamplung}}$$

Contoh perhitungan *yield* pada variabel daya 600 watt dengan konsentrasi katalis 0,5% dan waktu pemanasan selama 30 menit pada ukuran bahan baku biji nyamplung 8 bagian, diperoleh :

$$\eta_1 = 55,1434 \text{ cSt}$$

$$\eta_2 = 3,70 \text{ cSt}$$

$$\eta_{\text{biodiesel}} = 6,3754 \text{ cSt}$$

maka :

$$x_2 = \frac{\ln \eta_1 - \ln \eta_{\text{biodiesel}}}{\ln \eta_1 - \ln \eta_2}$$

$$x_2 = \frac{\ln(55,1434) - \ln(6,3754)}{\ln(55,1434) - \ln(3,7)}$$

$$x_2 = 0,7986$$

$$Yield = \frac{4,3467 \times 0,7986}{4,8488} \times 100$$

$$Yield = 73,0284$$

Hasil perhitungan untuk variabel lain dikerjakan dengan cara yang sama dalam Appendiks B pada tabel B.2.1 s.d. B.2.3

APPENDIKS B

HASIL PERHITUNGAN

B.1 Hasil Perhitungan Tahap Pembuatan Biodiesel dengan Proses *Ex situ*

B.1.1 Ekstraksi

Dari hasil ekstraksi yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel B.1.1.1 Hasil Perhitungan Densitas dan Viskositas pada Minyak Biji Nyamplung Sebelum
Degumming

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)
4	300	10	4,8357	0,9671	22,97	58,3438
		20	4,8345	0,9669	22,95	58,2930
		30	4,8339	0,9668	22,89	58,1406
	450	10	4,8348	0,9670	22,95	58,2930
		20	4,8337	0,9667	22,92	58,2168
		30	4,8328	0,9666	22,87	58,0898
	600	10	4,8338	0,9668	22,92	58,2168
		20	4,8325	0,9665	22,89	58,1406
		30	4,8319	0,9664	22,85	58,0390

8	300	10	4,8368	0,9674	22,86	58,0644
		20	4,8358	0,9672	22,78	57,8612
		30	4,8348	0,9670	22,73	57,7342
	450	10	4,8359	0,9672	22,84	58,0136
		20	4,8347	0,9669	22,76	57,8104
		30	4,8336	0,9667	22,72	57,7088
	600	10	4,8348	0,9670	22,81	57,9374
		20	4,8335	0,9667	22,73	57,7342
		30	4,8327	0,9665	22,69	57,6326

Tabel B.1.1.2 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, *Yield*, dan % *Recovery* pada Minyak Biji Nyamplung Setelah *Degumming* untuk Persiapan Transesterifikasi Katalis KOH 0,1%

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)	<i>Recovery</i> (%))
4	300	10	4,8246	0,9649	21,94	55,7276	0,5181	2,4998	4,6343
		20	4,8238	0,9648	21,85	55,4990	0,5602	2,7025	5,0100
		30	4,8227	0,9645	21,83	55,4482	0,5575	2,6885	4,9841

8	450	10	4,8239	0,9648	21,93	55,7022	0,5186	2,5015	4,6373
		20	4,8227	0,9645	21,84	55,4736	0,5589	2,6953	4,9967
		30	4,8218	0,9644	21,81	55,3974	0,5638	2,7184	5,0395
	600	10	4,8228	0,9646	21,92	55,6768	0,5165	2,4912	4,6183
		20	4,8217	0,9643	21,83	55,4482	0,5575	2,6880	4,9831
		30	4,8198	0,9640	21,79	55,3466	0,5702	2,7482	5,0948
	300	10	4,8257	0,9651	21,87	55,5498	0,5287	2,5513	4,7297
		20	4,8246	0,9649	21,85	55,4990	0,5195	2,5063	4,6464
		30	4,8238	0,9648	21,74	55,2196	0,5706	2,7526	5,1030
	450	10	4,8247	0,9649	21,85	55,4990	0,5347	2,5800	4,7829
		20	4,8238	0,9648	21,83	55,4482	0,5257	2,5359	4,7012
		30	4,8229	0,9646	21,72	55,1688	0,5801	2,7976	5,1863
	600	10	4,8239	0,9648	21,84	55,4736	0,5329	2,5705	4,7652
		20	4,8227	0,9645	21,82	55,4228	0,5236	2,5250	4,6810
		30	4,8218	0,9644	21,69	55,0926	0,5909	2,8492	5,2821

Tabel B.1.1.3 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, *Yield*, dan % *Recovery* pada Minyak Biji Nyamplung Setelah *Degumming* untuk Persiapan Transesterifikasi Katalis KOH 0,2%

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)	<i>Recovery</i> (%)
4	300	10	4,8243	0,9649	21,94	55,7276	0,5181	2,4997	4,6340
		20	4,8234	0,9647	21,93	55,7022	0,5186	2,5012	4,6369
		30	4,8225	0,9645	21,84	55,4736	0,5521	2,6624	4,9358
	450	10	4,8235	0,9647	21,94	55,7276	0,5134	2,4762	4,5905
		20	4,8228	0,9646	21,91	55,6514	0,5218	2,5167	4,6655
		30	4,8219	0,9644	21,82	55,4228	0,5583	2,6922	4,9909
	600	10	4,8229	0,9646	21,91	55,6514	0,5218	2,5167	4,6656
		20	4,8217	0,9643	21,89	55,6006	0,5252	2,5324	4,6946
		30	4,8197	0,9639	21,78	55,3212	0,5757	2,7747	5,1440
8	300	10	4,8252	0,9650	21,85	55,499	0,5396	2,6037	4,8269
		20	4,8244	0,9649	21,76	55,2704	0,5709	2,7544	5,1063
		30	4,8236	0,9647	21,72	55,1688	0,5824	2,8094	5,2082
	450	10	4,8247	0,9649	21,84	55,4736	0,5403	2,6066	4,8323

600	20	4,8236	0,9647	21,74	55,2196	0,5778	2,7869	5,1666
	30	4,8229	0,9646	21,71	55,1434	0,5860	2,8262	5,2394
	10	4,8237	0,9647	21,82	55,4228	0,5441	2,6245	4,8655
	20	4,8228	0,9646	21,71	55,1434	0,5883	2,8374	5,2601
	30	4,8215	0,9643	21,67	55,0418	0,6030	2,9074	5,3898

Tabel B.1.1.4 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, *Yield*, dan % *Recovery* pada Minyak Biji Nyamplung Setelah *Degumming* untuk Persiapan Transesterifikasi Katalis KOH 0,3%

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	Yield (%)	Recovery (%)
4	300	10	4,8245	0,9649	21,95	55,7530	0,5130	2,4749	4,5882
		20	4,8236	0,9647	21,82	55,4228	0,5759	2,7780	5,1499
		30	4,8224	0,9645	21,79	55,3466	0,5790	2,7923	5,1766
	450	10	4,8237	0,9647	21,94	55,7276	0,5134	2,4763	4,5906
		20	4,8228	0,9646	21,81	55,3974	0,5748	2,7721	5,1391
		30	4,8217	0,9643	21,79	55,3466	0,5747	2,7709	5,1368
	600	10	4,8229	0,9646	21,92	55,6768	0,5165	2,4912	4,6184

			20	4,8218	0,9644	21,81	55,3974	0,5682	2,7400	5,0795
			30	4,8195	0,9639	21,78	55,3212	0,5757	2,7746	5,1437
8	300	10	4,8255	0,9651	21,86	55,5244	0,5341	2,5775	4,7783	
		20	4,8247	0,9649	21,84	55,4736	0,5252	2,5339	4,6975	
		30	4,8235	0,9647	21,73	55,1942	0,5765	2,7809	5,1554	
	450	10	4,8248	0,9650	21,84	55,4736	0,5403	2,6067	4,8324	
		20	4,8237	0,9647	21,81	55,3974	0,5373	2,5916	4,8044	
		30	4,8228	0,9646	21,71	55,1434	0,5860	2,8261	5,2392	
	600	10	4,8238	0,9648	21,82	55,4228	0,5441	2,6246	4,8656	
		20	4,8229	0,9646	21,81	55,3974	0,5294	2,5534	4,7337	
		30	4,8217	0,9643	21,69	55,0926	0,5909	2,8492	5,2820	

Tabel B.1.1.5 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, *Yield*, dan % *Recovery* pada Minyak Biji Nyamplung Setelah *Degumming* untuk Persiapan Transesterifikasi Katalis KOH 0,4%

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	Yield (%)	Recovery (%)
4	300	10	4,8246	0,9649	21,94	55,7276	0,5181	2,4998	4,6343
		20	4,8237	0,9647	21,92	55,6768	0,5238	2,5264	4,6837
		30	4,8225	0,9645	21,83	55,4482	0,5575	2,6884	4,9839
	450	10	4,8238	0,9648	21,93	55,7022	0,5186	2,5014	4,6372
		20	4,8227	0,9645	21,92	55,6768	0,5165	2,4911	4,6182
		30	4,8216	0,9643	21,83	55,4482	0,5529	2,6658	4,9419
	600	10	4,8228	0,9646	21,92	55,6768	0,5165	2,4912	4,6183
		20	4,8217	0,9643	21,89	55,6006	0,5252	2,5324	4,6946
		30	4,8196	0,9639	21,82	55,4228	0,5537	2,6685	4,9471
8	300	10	4,8256	0,9651	21,86	55,5244	0,5341	2,5776	4,7784
		20	4,8248	0,9650	21,75	55,2450	0,5767	2,7823	5,1579
		30	4,8234	0,9647	21,73	55,1942	0,5765	2,7808	5,1553
	450	10	4,8249	0,9650	21,83	55,4482	0,5458	2,6334	4,8819

600	20	4,8236	0,9647	21,74	55,2196	0,5778	2,7869	5,1666
	30	4,8227	0,9645	21,72	55,1688	0,5801	2,7975	5,1861
	10	4,8237	0,9647	21,82	55,4228	0,5441	2,6245	4,8655
	20	4,8228	0,9646	21,71	55,1434	0,5883	2,8374	5,2601
	30	4,8217	0,9643	21,68	55,0672	0,5970	2,8783	5,3360

Tabel B.1.1.6 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, *Yield*, dan % *Recovery* pada Minyak Biji Nyamplung Setelah *Degumming* untuk Persiapan Transesterifikasi Katalis KOH 0,5%

Ukuran Bahan (Bagian)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Massa Minyak (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	Yield (%)	Recovery (%)
4	300	10	4,8247	0,9649	21,95	55,7530	0,5130	2,4751	4,5884
		20	4,8236	0,9647	21,83	55,4482	0,5707	2,7528	5,1032
		30	4,8228	0,9646	21,79	55,3466	0,5790	2,7926	5,1770
	450	10	4,8237	0,9647	21,93	55,7022	0,5186	2,5014	4,6371
		20	4,8226	0,9645	21,81	55,3974	0,5748	2,7720	5,1389
		30	4,8218	0,9644	21,77	55,2958	0,5856	2,8235	5,2344
	600	10	4,8227	0,9645	21,91	55,6514	0,5218	2,5166	4,6654

		20	4,8219	0,9644	21,79	55,3466	0,5790	2,7921	5,1761
		30	4,8198	0,9640	21,76	55,2704	0,5867	2,8279	5,2426
8	300	10	4,8253	0,9651	21,87	55,5498	0,5287	2,5510	4,7293
		20	4,8247	0,9649	21,85	55,4990	0,5195	2,5064	4,6465
		30	4,8238	0,9648	21,73	55,1942	0,5765	2,7811	5,1557
	450	10	4,8248	0,9650	21,85	55,4990	0,5347	2,5800	4,7830
		20	4,8237	0,9647	21,83	55,4482	0,5257	2,5359	4,7011
		30	4,8228	0,9646	21,71	55,1434	0,5860	2,8261	5,2392
	600	10	4,8238	0,9648	21,83	55,4482	0,5385	2,5975	4,8154
		20	4,8227	0,9645	21,81	55,3974	0,5294	2,5533	4,7335
		30	4,8218	0,9644	21,69	55,0926	0,5909	2,8492	5,2821

B.1.2 Esterifikasi

Dari hasil esterifikasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel B.1.2.1 Hasil Perhitungan FFA (%) pada Katalis H₂SO₄ dengan Daya 150 Watt

Ratio mol minyak : methanol	Kadar Katalis H ₂ SO ₄ (%)	Daya (Watt)	Waktu (menit)	Volume Titrasi KOH (mL)	Kadar FFA akhir (%)
1:40	0	150	0	10,7	30,8490
	10	150	60	2,3	6,6311
	12	150	60	1,6	4,6129
	13	150	60	0,5	1,4415

B.1.3 Transesterifikasi

Dari hasil transesterifikasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel B.1.3.1 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 300 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	Yield (%)
4	0,1	10	4,5785	0,9157	10,36	26,3144	0,276667	26,2554
		20	4,5693	0,9139	9,17	23,2918	0,320625	30,3709
		30	4,5586	0,9117	8,87	22,5298	0,332683	31,4464
	0,2	10	4,5696	0,9139	9,63	24,4602	0,303608	28,7579
		20	4,5578	0,9116	8,68	22,0472	0,341792	32,2972
		30	4,5485	0,9097	7,96	20,2184	0,372774	35,1594
	0,3	10	4,5583	0,9117	8,73	22,1742	0,339896	32,1142
		20	4,5479	0,9096	6,62	16,8148	0,440666	41,5479
		30	4,5395	0,9079	5,57	14,1478	0,504219	47,464

8	0,4	10	4,5495	0,9099	6,74	17,1196	0,435173	41,0359
		20	4,5385	0,9077	5,83	14,8082	0,48848	45,9599
		30	4,5294	0,9059	4,69	11,9126	0,568078	53,3551
	0,5	10	4,5397	0,9079	3,48	8,8392	0,678956	63,8849
		20	4,5257	0,9051	2,37	6,0198	0,820207	76,9552
	0,1	30	4,5174	0,9035	1,96	4,9784	0,890298	83,392
		10	4,5823	0,9165	10,27	26,0858	0,279034	26,496
		20	4,5739	0,9148	8,93	22,6822	0,330419	31,3249
	0,2	30	4,5618	0,9124	8,64	21,9456	0,341382	32,284
		10	4,5785	0,9157	9,54	24,2316	0,306018	29,0372
		20	4,5647	0,9129	8,57	21,7678	0,344615	32,6064
		30	4,5583	0,9117	7,83	19,8882	0,377589	35,6822
	0,3	10	4,5668	0,9134	8,64	21,9456	0,342721	32,4347
		20	4,5597	0,9119	6,53	16,5862	0,445911	42,1419
		30	4,5489	0,9098	5,48	13,9192	0,509741	48,0722
	0,4	10	4,5617	0,9123	6,65	16,891	0,439375	41,5346
		20	4,5576	0,9115	5,74	14,5796	0,492762	46,5472
		30	4,5487	0,9097	4,58	11,6332	0,576126	54,3315

0,5	10	4,5592	0,9118	3,37	8,5598	0,69038	65,2308
	20	4,5484	0,9097	2,28	5,7912	0,834564	78,677
	30	4,5375	0,9075	1,89	4,8006	0,903643	85,001

Tabel B.1.3.2 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 450 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)
4	0,1	10	4,5487	0,9097	10,29	26,1366	0,279045	26,3126
		20	4,5386	0,9077	8,95	22,733	0,329479	31,007
		30	4,5278	0,9056	8,67	22,0218	0,340884	32,0099
	0,2	10	4,5387	0,9077	9,56	24,2824	0,306298	28,8213
		20	4,5275	0,9055	8,59	21,8186	0,345416	32,4266
		30	4,5183	0,9037	7,86	19,9644	0,377233	35,3481
	0,3	10	4,5278	0,9056	8,68	22,0472	0,341903	32,093
		20	4,5189	0,9038	6,55	16,637	0,444499	41,649
		30	4,4985	0,8997	5,47	13,8938	0,510916	47,6669

	0,4	10	4,5193	0,9039	6,67	16,9418	0,438928	41,1221
		20	4,4987	0,8997	5,75	14,605	0,493576	46,0417
		30	4,4867	0,8973	4,54	11,5316	0,580085	53,9793
	0,5	10	4,4993	0,8999	3,39	8,6106	0,688511	64,2208
		20	4,4874	0,8975	2,26	5,7404	0,837707	77,9482
		30	4,4786	0,8957	1,87	4,7498	0,907642	84,3039
	0,1	10	4,5494	0,9099	10,14	25,7556	0,283495	26,7318
		20	4,5395	0,9079	8,86	22,5044	0,333099	31,3467
		30	4,5283	0,9057	8,58	21,7932	0,343737	32,274
8	0,2	10	4,5392	0,9078	9,64	24,4856	0,30205	28,4176
		20	4,5286	0,9057	8,47	21,5138	0,348734	32,7406
		30	4,5194	0,9039	7,75	19,685	0,381285	35,7291
	0,3	10	4,5285	0,9057	8,57	21,7678	0,345503	32,4285
		20	4,5196	0,9039	6,43	16,3322	0,451332	42,2879
		30	4,4994	0,8999	5,38	13,6652	0,516391	48,1764
	0,4	10	4,5218	0,9044	6,54	16,6116	0,445252	41,7281
		20	4,4997	0,8999	5,68	14,4272	0,496563	46,3219
		30	4,4874	0,8975	4,47	11,3538	0,585051	54,4375

0,5	10	4,5117	0,9023	3,28	8,3312	0,700271	65,4828
	20	4,4885	0,8977	2,15	5,461	0,856194	79,6697
	30	4,4793	0,8959	1,79	4,5466	0,923732	85,794

Tabel B.1.3.3 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 600 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)
4	0,1	10	4,5294	0,9059	13,17	33,4518	0,187907	17,6475
		20	4,5113	0,9023	11,87	30,1498	0,225063	21,0574
		30	4,4979	0,8996	9,56	24,2824	0,304539	28,4200
	0,2	10	4,5197	0,9039	10,68	27,1272	0,265079	24,8415
		20	4,4987	0,8997	9,25	23,4950	0,317878	29,6584
		30	4,4896	0,8979	7,28	18,4912	0,405151	37,7402
	0,3	10	4,4995	0,8999	8,58	21,7932	0,345956	32,2758
		20	4,4897	0,8979	6,86	17,4244	0,427412	39,7974
		30	4,4784	0,8957	5,14	13,0556	0,533839	49,6056

8	0,4	10	4,4917	0,8983	6,27	15,9258	0,461644	42,9951
		20	4,4837	0,8967	4,87	12,3698	0,554617	51,5739
		30	4,4657	0,8931	3,48	8,8392	0,678251	62,8448
	0,5	10	4,4894	0,8979	3,76	9,5504	0,650192	60,5257
		20	4,4786	0,8957	2,68	6,8072	0,774645	71,9494
		30	4,4467	0,8893	1,76	4,4704	0,930047	85,8053
	0,1	10	4,5386	0,9077	13,17	33,4518	0,18681	17,5761
		20	4,5294	0,9059	11,27	28,6258	0,244095	22,925
		30	4,5178	0,9036	8,93	22,6822	0,328597	30,788
	0,2	10	4,5287	0,9057	10,68	27,1272	0,263962	24,7819
		20	4,5196	0,9039	8,15	20,7010	0,362657	33,9857
		30	4,4987	0,8997	6,49	16,4846	0,446583	41,6684
	0,3	10	4,5198	0,9040	7,89	20,0406	0,375825	35,2141
		20	4,4985	0,8997	5,57	14,1478	0,504388	47,0461
		30	4,4794	0,8959	4,74	12,0396	0,563122	52,3145
	0,4	10	4,5197	0,9039	5,27	13,3858	0,524926	49,1844
		20	4,4984	0,8997	3,46	8,7884	0,679783	63,4058
		30	4,4596	0,8919	3,17	8,0518	0,712037	65,8565

0,5	10	4,4987	0,8997	3,26	8,2804	0,702429	65,5089
	20	4,4875	0,8975	2,17	5,5118	0,852724	79,3456
	30	4,4484	0,8897	1,69	4,2926	0,944992	87,1812

B.2 Hasil Perhitungan Tahap Pembuatan Biodiesel dengan Proses *In situ*

Dari hasil transesterifikasi *In situ* yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel B.2.1 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 300 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)
4	0,1	10	4,6344	0,9269	6,69	16,9926	0,443545	43,24502
		20	4,5789	0,9158	6,45	16,383	0,456881	44,01176
		30	4,5645	0,9129	6,3	16,002	0,46547	44,69815
	0,2	10	4,6287	0,9257	5,98	15,1892	0,484498	47,17977
		20	4,5779	0,9156	5,84	14,8336	0,493145	47,49479
		30	4,5642	0,9128	5,76	14,6304	0,49818	47,83611
	0,3	10	4,6248	0,9250	5,71	14,5034	0,501363	48,78088

8	0,4	20	4,5731	0,9146	5,66	14,3764	0,504573	48,54444
		30	4,5602	0,9120	5,46	13,8684	0,517705	49,66732
		10	4,6239	0,9248	5,05	12,827	0,546198	53,13292
	0,5	20	4,5699	0,9140	4,94	12,5476	0,554237	53,28527
		30	4,5589	0,9118	4,87	12,3698	0,559447	53,65664
		10	4,6075	0,9215	4,56	11,5824	0,583455	56,5558
		20	4,5631	0,9126	4,32	10,9728	0,60319	57,9054
		30	4,5579	0,9116	4,24	10,7696	0,610013	58,49367
	0,1	10	4,6465	0,9293	6,32	16,0528	0,459078	44,87632
		20	4,5996	0,9199	6,26	15,9004	0,462594	44,76358
		30	4,5776	0,9155	5,39	13,6906	0,517748	49,86097
	0,2	10	4,6455	0,9291	5,31	13,4874	0,523259	51,13924
		20	4,5987	0,9197	4,92	12,4968	0,551376	53,34431
		30	4,5766	0,9153	4,78	12,1412	0,562017	54,11244
	0,3	10	4,6349	0,9270	4,47	11,3538	0,586732	57,21166
		20	4,5877	0,9175	4,03	10,2362	0,624925	60,31536
		30	4,5631	0,9126	3,89	9,8806	0,637958	61,24302
	0,4	10	4,6252	0,9250	3,79	9,6266	0,647557	63,01054
		20	4,5787	0,9157	3,69	9,3726	0,657413	63,32644

0,5	30	4,5591	0,9118	3,68	9,3472	0,658413	63,1513
	10	4,6183	0,9237	3,67	9,3218	0,659416	64,06876
	20	4,5639	0,9128	3,56	9,0424	0,670632	64,39105
	30	4,5542	0,9108	3,49	8,8646	0,677952	64,9555

Tabel B.2.2 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 450 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)
4	0,1	10	4,4992	0,8998	6,48	16,4592	0,45242	42,82347
		20	4,4781	0,8956	6,34	16,1036	0,460433	43,37757
		30	4,4374	0,8875	6,09	15,4686	0,475193	44,3612
	0,2	10	4,4825	0,8965	5,94	15,0876	0,484342	45,67489
		20	4,4749	0,8950	5,81	14,7574	0,492461	46,36174
		30	4,4324	0,8865	5,76	14,6304	0,495632	46,21711
	0,3	10	4,4819	0,8964	5,48	13,9192	0,513914	48,45709
		20	4,4721	0,8944	5,39	13,6906	0,519989	48,92273

8	0,4	30	4,4316	0,8863	5,19	13,1826	0,533861	49,77301
		10	4,4723	0,8945	4,77	12,1158	0,564821	53,14306
		20	4,4699	0,8940	4,28	10,8712	0,604588	56,85413
	0,5	30	4,428	0,8856	4,14	10,5156	0,616789	57,45781
		10	4,4693	0,8939	4,03	10,2362	0,626669	58,92266
		20	4,4684	0,8937	3,98	10,1092	0,631249	59,34137
		30	4,4275	0,8855	3,82	9,7028	0,646302	60,20037
	0,1	10	4,5178	0,9036	6,67	16,9418	0,437122	41,54649
		20	4,4975	0,8995	6,35	16,129	0,455311	43,08084
		30	4,4569	0,8914	6,25	15,875	0,461184	43,24257
	0,2	10	4,5171	0,9034	5,96	15,1384	0,478761	45,49703
		20	4,4969	0,8994	5,82	14,7828	0,487555	46,12555
		30	4,4567	0,8913	5,74	14,5796	0,492676	46,19332
	0,3	10	4,5165	0,9033	5,54	14,0716	0,505796	48,05984
		20	4,4963	0,8993	5,25	13,335	0,525688	49,72649
		30	4,4566	0,8913	4,87	12,3698	0,553484	51,8936
	0,4	10	4,5152	0,9030	4,36	11,0744	0,59441	56,46353
		20	4,4949	0,8990	3,97	10,0838	0,629078	59,48797
		30	4,4542	0,8908	3,68	9,3472	0,657141	61,57902

0,5	10	4,5149	0,9030	3,4	8,636	0,686418	65,19912
	20	4,4947	0,8989	3,32	8,4328	0,695227	65,7404
	30	4,4538	0,8908	3,25	8,255	0,703111	65,88089

Tabel B.2.3 Hasil Perhitungan Densitas, Viskositas, dan *Yield* Biodiesel dengan Daya 600 Watt pada Katalis KOH

Ukuran Bahan (Bagian)	Konsentrasi (%)	Waktu (menit)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	<i>Yield</i> (%)
4	0,1	10	4,4372	0,8874	6,5	16,5100	0,445252	41,5643
		20	4,4251	0,8850	6,44	16,3576	0,448692	41,7711
		30	4,3435	0,8687	5,92	15,0368	0,47992	43,8544
	0,2	10	4,4336	0,8867	5,53	14,0462	0,505197	47,1218
		20	4,4035	0,8807	5,36	13,6144	0,516778	47,8748
		30	4,3429	0,8686	5,21	13,2334	0,527306	48,1779
	0,3	10	4,4332	0,8866	4,84	12,2936	0,55463	51,7279
		20	4,3956	0,8791	4,59	11,6586	0,574301	53,1083
		30	4,3424	0,8685	4,47	11,3538	0,584127	53,3632
	0,4	10	4,4329	0,8866	4,34	11,0236	0,595074	55,4962

	0,5	20	4,3845	0,8769	4,25	10,7950	0,602847	55,6073
		30	4,3374	0,8675	4,01	10,1854	0,624407	56,9773
		10	4,4321	0,8864	3,88	9,8552	0,636631	59,3611
		20	4,3835	0,8767	3,69	9,3726	0,655254	60,4276
		30	4,3369	0,8674	3,51	8,9154	0,673803	61,4776
8	0,1	10	4,4485	0,8897	6,45	16,3830	0,449249	42,0441
		20	4,4347	0,8869	6,36	16,1544	0,45445	42,3990
		30	4,3526	0,8705	5,82	14,7828	0,487293	44,6214
	0,2	10	4,4455	0,8891	5,43	13,7922	0,512967	47,9750
		20	4,4341	0,8868	5,35	13,5890	0,518461	48,3645
		30	4,3518	0,8704	5,12	13,0048	0,534726	48,9559
	0,3	10	4,4449	0,8890	4,82	12,2428	0,557076	52,0932
		20	4,4216	0,8843	4,55	11,5570	0,578414	53,8050
		30	4,3497	0,8699	4,41	11,2014	0,589982	53,9887
	0,4	10	4,4421	0,8884	4,16	10,5664	0,611584	57,1543
		20	4,4005	0,8801	3,88	9,8552	0,637376	59,0069
		30	4,3476	0,8695	3,48	8,8392	0,677649	61,9811
	0,5	10	4,4399	0,8880	3,15	8,0010	0,714528	66,7416
		20	4,3891	0,8778	2,74	6,9596	0,766143	70,7441

	30	4,3467	0,8693	2,51	6,3754	0,798596	73,0284
--	----	--------	--------	------	--------	----------	---------

Tabel B.2.4 Hasil Perhitungan Eksraksi biji nyamplung dengan variabel yang optimal

Ukuran Bahan (Bagian)	Waktu (menit)	Daya (watt)	Massa Biodiesel (gram)	Densitas (g/mL)	t (detik)	Viskositas (cSt)	Kadar (%)	Yield (%)
4	30	300	4,8426	0,9685	22,55	57,2770	0,1759	0,8521
	30	450	4,8386	0,9677	22,24	56,4896	0,3318	1,6056
	30	600	4,8378	0,9676	21,59	54,8386	0,6809	3,2940
8	30	300	4,8548	0,9710	21,96	55,7784	0,4416	2,1439
	30	450	4,8498	0,9700	21,74	55,2196	0,5682	2,7557
	30	600	4,8488	0,9698	21,71	55,1434	0,5788	2,8066

APPENDIKS C

HASIL ANALISIS

C.1 Hasil Analisis *Gas Chromatography* (GC) pada Produk Biodiesel *Ex Situ* dengan Katalis KOH 0,5%, Daya 600 Watt, dan Waktu 30 Menit

Biodiesel

Chrom. File Name : C/D-7900E\ChrData\Biodiesel

Method Name : FAME Mix (Area ESTD)

Instrumnet Condition :

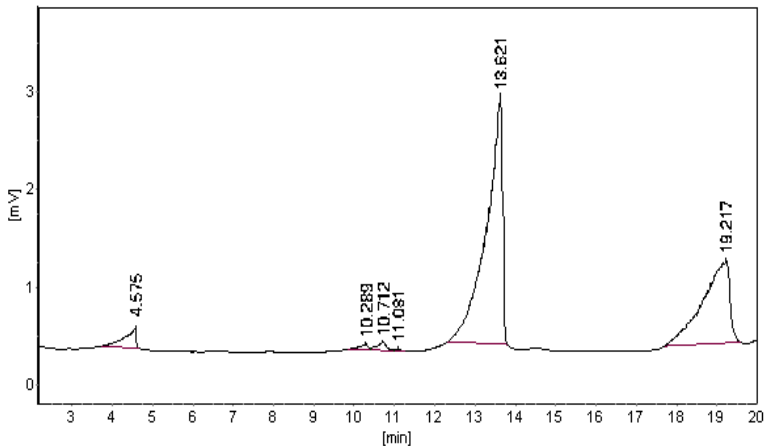
Inst. Model : GC7900

Detector : FID, Temp = 250 C, Range = 2

Inlet : CIP, Temp = 250 C

Coloumn : 30m x 0.25mm x 0.25um

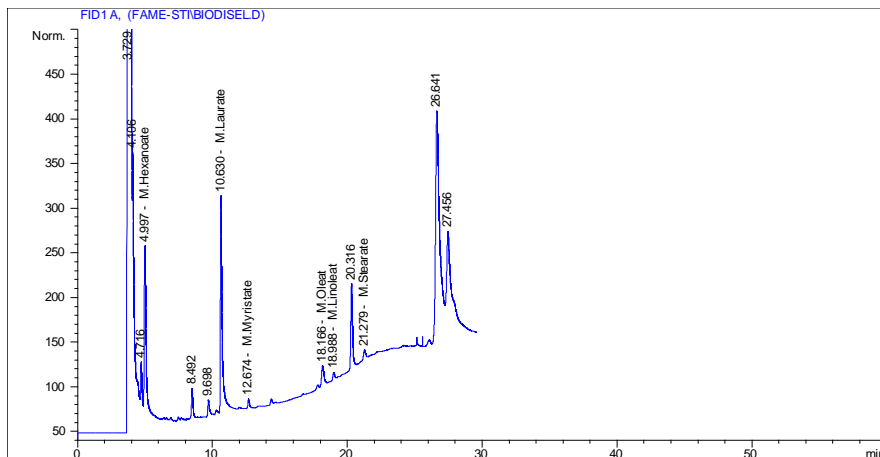
Oven : 100C(2min) -> [10C/min, 150C(2min)]-
-> [10C/min, 220C(2min)] -> [5C/min, 250C(1min)]



General Result

Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	N-Heksan	0.315	1170773	8633095	98.66994	BB
2	Metil Stearat	4.575	205	4195	0.04795	BB
3	Metil Myristate	10.289	58	922	0.01053	BV
4	Metil Palmitate	10.712	81	1364	0.0156	VV
5	Metil Arachidate	11.081	20	165	0.00189	VB
6	Metil Oleat	13.621	2541	70643	0.80739	BP
7	Metil Linoleat	19.217	842	39084	0.4467	PB
TOTAL			1174520	8749468	100	

C.2 Hasil Analisis Gas Chromatography (GC) pada Produk Biodiesel *In Situ* dengan Katalis KOH 0,5%, Daya 600 Watt, dan Waktu 30 Menit



Data File C:\HPCHEM\1\DATA\FAME-STI\BIODISEL.D

Sample Name: BIODIESEL

Instrument 1 12/3/2016 4:39:05 PM

INNOWAX-1uL

```

=====
=====
Injection Date : 12/3/2016 4:02:26 PM
Sample Name   : BIODIESEL          Vial : 1
Acq. Operator :                    Inj  : 1
                                           Inj Volume : Manually
Acq. Method   : C:\HPCHEM\1\METHODS\FAMEINOX.M
Last changed  : 10/25/2016 5:20:57 PM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\FAMEINOX.M
Last changed   : 12/3/2016 4:39:03 PM
                (modified after loading)
=====
=====

```

External Standard Report (Sample Amount is 0!)

```

=====
Sorted By           : Signal
Calib. Data Modified : 10/25/2016 3:03:11 PM
Multiplier          : 2.0000
Dilution            : 1.0000

```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [(mg/L)]	Grp Name
4.997	VB +	1552.71985	2.95613	9180.09640	M.Hexanoate
6.381		-	-	-	M.Octanoate
7.699		-	-	-	M.Nonanoate
10.630	PB +	1937.91284	1.61192	6247.50576	M.Laurate
12.674	BB +	74.90083	2.49177	373.27052	M.Myristate
15.392		-	-	-	M.Palmitate

18.166 PB +	270.15262	1.30899	707.25549	M.Oleat
18.988 PP +	71.85427	0.00000	0.00000	M.Linoleat
21.279 PB +	111.83868	3.48908e-1	78.04286	M.Stearate
24.717	-	-	-	M.Arachidate
Totals :			1.65862e4	

*** End of Report ***

APPENDIKS D DOKUMENTASI



Gambar D.1 Hasil Produk Biodiesel dengan Proses *In Situ* (Kiri) dan *Ex Situ* (Kanan)

BIODATA PENULIS

SYAFIQUN NIZAR SYAHIR
(2314 106 033)



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 23 Maret 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Roudlotul Mu'alimin Menganti – Gresik, SMPN 2 Menganti – Gresik, SMA SHAFTA Surabaya, dan D3 Teknik Kimia FTI-ITS. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan tinggi jenjang S-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS.

Semasa menempuh jenjang S-1, penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT Petrokimia Gresik. Untuk mengembangkan *softskill*, penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan baik di tingkat jurusan hingga institut. Di jurusan Teknik Kimia, penulis memilih Laboratorium Teknologi Proses Kimia sebagai tempat mengembangkan diri dan melaksanakan penelitian. Pada skripsi S-1 ini, penulis melakukan penelitian tentang Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung Menggunakan *Microwave* dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*.

Nama : Syafiqun Nizar Syahir
Alamat : Dusun Laban Kulon RT.01 RW.03 Kec. Menganti
Kab. Gresik – Jawa Timur
HP : +62 857 31811123
Email : syafiqun.nizar@gmail.com
nizar14@mhs.chem-eng.its.ac.id

AGRANDY FYADLON
(2314 106 035)



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 2 Agustus 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Hang Tuah 1 Surabaya, SMP Negeri 25 Surabaya, SMA Hang Tuah 1 Surabaya, dan D3 Teknik Kimia FTI-ITS. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan tinggi jenjang S-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS. Semasa menempuh jenjang S-1, penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT Semen Indonesia, Tbk pabrik Tuban. Untuk mengembangkan *softskill*, penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan baik di tingkat jurusan hingga institut. Di jurusan Teknik Kimia, penulis memilih Laboratorium Teknologi Proses Kimia sebagai tempat mengembangkan diri dan melaksanakan penelitian. Pada skripsi S-1 ini, penulis melakukan penelitian tentang Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung Menggunakan *Microwave* dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*.

Nama : Agrandy Fyadlon
Alamat : Jalan Indragiri 4F, Surabaya RT 003 / RW 008,
Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Surabaya
– Jawa Timur
HP : +62 857 3155 1992
Email : agrandy.fyadlon@gmail.com